



TESIS - ME142516

**KAJIAN EKSPERIMENTAL PENGGUNAAN NATURAL
GAS DAN BIOSOLAR PADA MESIN DIESEL**

SUARDI

4113 204 002

DOSEN PEMBIMBING:

Dr. Eng. I MADE ARIANA, ST. MT.

Ir. AGUK ZUHDI M. F, M.Eng,. Ph.D.

**PROGRAM MAGISTER
TEKNIK SISTEM DAN PENGENDALIAN KELAUTAN
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2015**



TESIS - ME142516

EXPERIMENTAL STUDY OF NATURAL GAS AND BIODIESEL APPLICATION IN DIESEL ENGINES

SUARDI

4113 204 002

SUPERVISOR :

Dr. Eng. I MADE ARIANA, ST. MT.

Ir. AGUK ZUHDI M. F, M.Eng,. Ph.D.

MASTER PROGRAM

MARINE ENGINEERING AND CONTROL SYSTEMS

STUDY PROGRAM OF OCEAN TECHNOLOG

SEPULUH NOPEMBER INSTITUTE OF TECHNOLOGY

SURABAYA

2015

LEMBAR PENGESAHAN

TESIS

Judul Tesis : KAJIAN EKSPERIMENTAL PENGGUNAAN *NATURAL GAS* DAN
BIOSOLAR PADA MESIN DIESEL

Oleh : **SUARDI**

NRP : **4113204002**

Telah Diujikan pada :

Hari / Tanggal : Rabu / 8 Juli 2015

Periode Wisuda : Bulan September

**Untuk Mendapatkan Gelar Magister Teknik (MT) Pada
Program Pascasarjana Teknologi Kelautan – Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember**

Dosen Pembimbing

1. Dr. Eng. I Made Ariana, ST. MT.
NIP. 1971 0610 1995 12 1001
2. Ir. Aguk Zuhdi M.F, M.Eng, Ph. D.
NIP. 1956 0519 1986 10 1001

Dosen Penguji

1. Ir. Agoes Achmad Masroeri, M.Eng, D.Eng.
NIP. 1958 0807 1984 03 1001
2. Semin Sanuri, ST. MT, Ph. D.
NIP. 1971 0110 1997 02 1001
3. Sutopo Purwono Fitri, ST. M. Eng., Ph. D.
NIP. 1975 1006 2002 12 1003

Direktur Program Pascasarjana
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Prof. DR. H. Adi Soeprijanto, M.T.
NIP. 196404051995021001



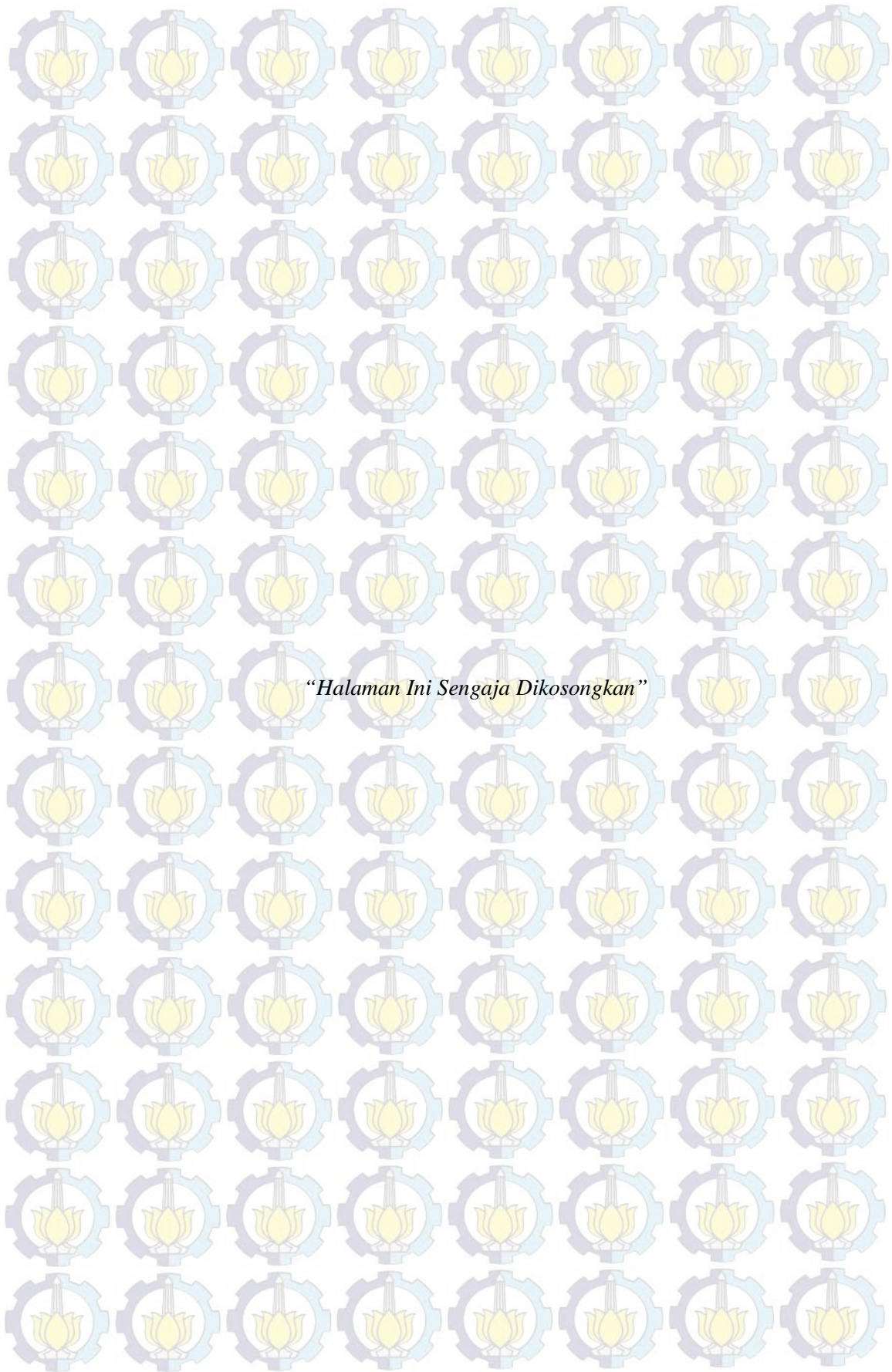
Kajian eksperimental Penggunaan *Natural Gas* dan Biosolar pada Mesin Diesel

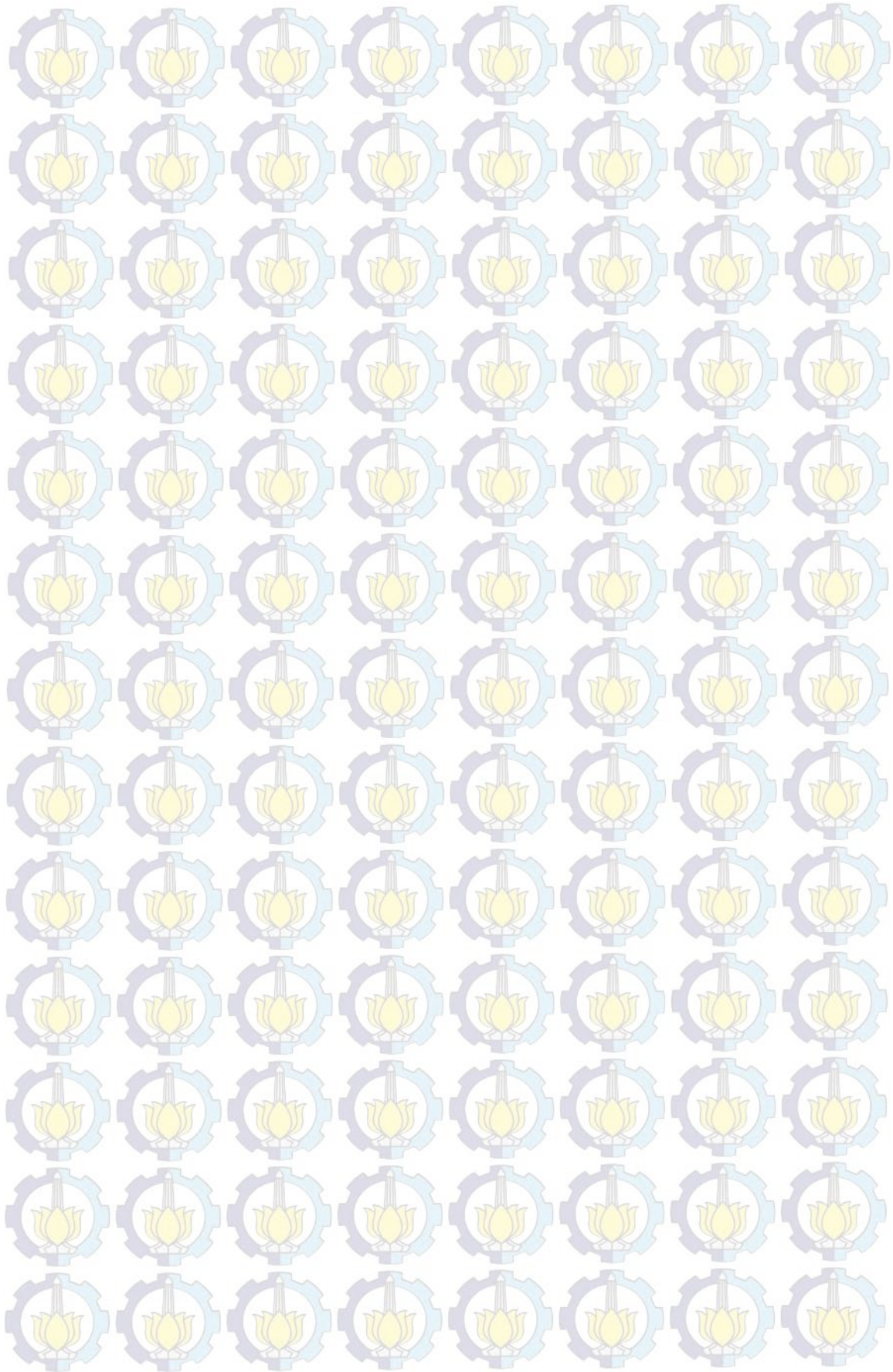
Nama mahasiswa : Suardi
NRP : 4113204002
Dosen Pembimbing : 1. Dr. Eng. I Made Ariana, ST., MT.
2. Ir. Aguk Zuhdi M. F, M. Eng, Ph.D

ABSTRAK

Cadangan minyak bumi Indonesia yang semakin menipis mendorong manusia untuk terus mencari dan mengembangkan bahan bakar alternatif, salah satunya adalah kombinasi sistem bahan bakar minyak bumi dan gas atau biasa disebut diesel dual fuel (DDF) system. Jenis penelitian yang digunakan adalah metode eksperimental dengan tujuan desain rancang bangun sistem bahan bakar hingga menghasilkan suplai yang optimal dengan memanfaatkan kombinasi bahan bakar antara biosolar dan CNG (Compressed natural gas). Instalasi system DDF ini sedikit berbeda dengan instalasi mesin pada umumnya karena menggunakan alat pengontrol otomatis yang mengatur timing injection bahan bakar CNG, sedangkan pada sistem bahan bakar biosolar dilakukan modifikasi injektor (packing Injektor) untuk mencapai tingkat komposisi bahan bakar yang ideal. Penelitian ini menunjukkan performa mesin yang paling baik pada sampel DF CNG 1 dengan SFC 263 gr/kW.h dan efisiensi termal sebesar 32,91%. Penambahan CNG pada mesin DDF memberikan tingkat efisiensi biosolar mulai dari 39% hingga 74% dibandingkan menggunakan bahan bakar biosolar murni.

Kata Kunci : Diesel Dual Fuel (DDF), Compressed Natural Gas, Bio Diesel, Packing Injektor, Performa Mesin.





Experimental Study of Natural Gas and Biodiesel Application In Diesel Engines

Student Name : Suardi

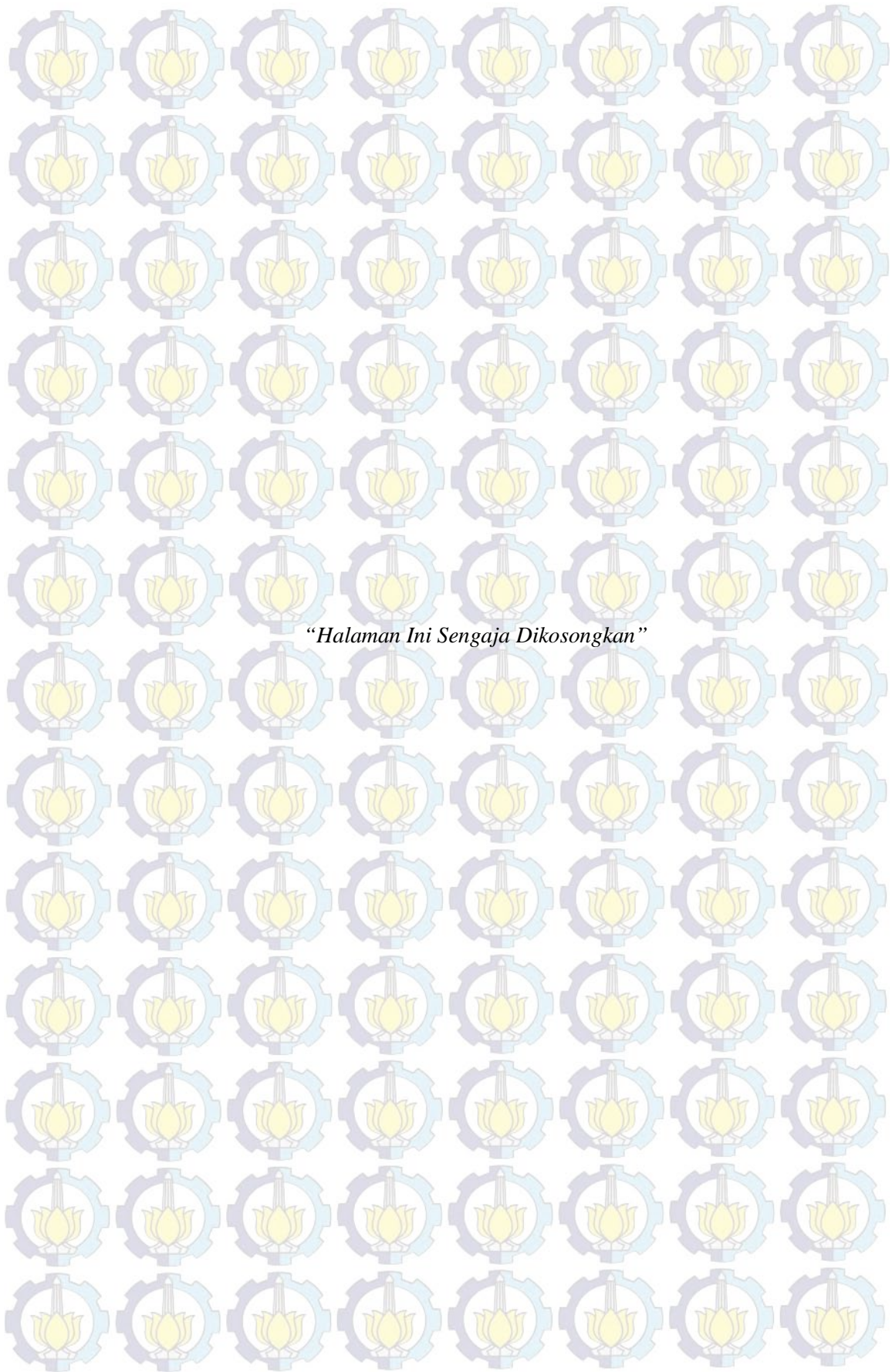
Student Register Number : 4113204002

Supervisors : 1. Dr. Eng. I Made Ariana, ST., MT.
2. Ir. Aguk Zuhdi M. F, M. Eng, Ph.D

ABSTRACT

The dwindling of Indonesia's oil reserves encourages people to keep looking for and develop alternative fuels and one of them is a combination of petroleum fuel system and gas or so-called dual diesel fuel (DDF) system. This research is conducted experimentally to create the fuel system design in order to produce an optimal supply of fuel by utilizing a combination between biodiesel and CNG (Compressed natural gas). DDF system installation is slightly different from the installation of the engine in general because it uses automation control device which regulate the injection timing of CNG, whereas in biodiesel fuel system, injector (packing injector) is modified to reach the level of an ideal fuel composition. This research showed the best engine performance in DF CNG 1 sample which SFC 263 g / kW.h and 32.91% of thermal efficiency. The addition of CNG in DDF engine provides a level of fuel efficiency ranging from 39% to 74% compared by using pure biodiesel fuel.

*Keywords : Dual Fuel, Compressed natural gas, Bio Diesel, packing Injector,
Engine Performance*



KATA PENGANTAR



Assalamualaikum Wr. Wb

Segala puji syukur penulis serukan kehadiran ALLAH SWT. Shalawat dan salam selalu tercurahkan kepada Rasulullah SAW. Berkat limpahan rahmat dan karunia-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan Tesis ini sesuai jadwal yang diharapkan. Tesis ini disusun guna melengkapi persyaratan akademik untuk menyelesaikan Program Magister (S-2) pada Program Studi Teknik Sistem dan Pengendalian Kelautan (TSPK) Fakultas Teknologi Kelautan Institut Teknologi Sepuluh November dengan judul “KAJIAN EKSPERIMENTAL PENGGUNAAN NATURAL GAS DENGAN BIOSOLAR PADA MESIN DIESEL”

Selama proses penelitian dan penyusunan tesis ini tentulah tidak semudah dan semulus yang dibayangkan. Namun penulis menyadari bahwa kelancaran dalam penyusunan Tesis ini tidak lain berkat bantuan, dorongan, bimbingan dan masukan-masukan yang diberikan untuk menyelesaikan penelitian mulai dari tahap awal hingga akhirnya Tesis ini selesai. Oleh karena itu perkenankan penulis untuk mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada :

1. Kedua orang tua penulis yang tercinta, (Alm) Bapak Fahrudin dan Ibu Asiah yang dengan susah payah membesarkan, merawat, memotivasi dan memberikan dukungannya kepada penulis, Kalian adalah Orang tua yang sempurna bagi penulis.
2. Saudara-saudara penulis di Sidrap, Sulawesi Selatan, Zulkarnain, Fitriani dan Dewi Shinta yang juga selalu memberikan motivasi pada penulis hingga selesainya Tesis ini.
3. Dr. Ir. Agoes A. Masroeri, M.Eng selaku Ketua Jurusan Teknik Sistem Perkapalan, FTK-ITS.

4. Dr. I Made Ariana ST, MT selaku Sekertaris Jurusan Teknik Sistem Perkapalan, FTK-ITS dan juga sebagai dosen pembimbing 1 yang selalu membimbing di dalam menyelesaikan skripsi ini.
5. Dr. Ir.Aguk Zuhdi M.F., M.Eng selaku Kepala Laboratorium Mesin Kapal dan juga sekaligus sebagai dosen pembimbing 2 yang selalu membimbing dan mengarahkan penulis di dalam menyelesaikan Tesis ini.
6. Bapak Nur Afandi yang membantu dalam pelaksanaan uji eksperimen dan memberikan saran dalam pengerjaan Tesis ini.
7. Dosen-dosen Pascasarjana FTK-ITS yang tidak sempat penulis sebutkan satu per satu yang telah banyak mengajarkan dan memberikan ilmunya selama kuliah S-2 ini
8. Teman-teman S-2 seperjuangan angkatan 2013 dan teman-teman Pascasarjana angkatan 2014 yang tidak bisa saya sebutkan satu per satu serta semua penghuni Lab Komputer Pascasarjana yang telah setia menemani, membantu dan memotivasi penulis, terima kasih kawan.
9. Aldi, Yayat, Tata, Dimas, Dian, dan semua teman-teman S-1 angkatan 2010 bidang *marine power plant* yang juga telah banyak membantu penulis dalam proses penelitian.

Akhir kata, penulis menyadari sepenuhnya bahwa penulisan Tesis ini masih jauh dari sempurna dan adalah kekurangan baik dari segi penyusun bahasanya maupun segi lainnya. Oleh karena itu dengan lapang dada dan tangan terbuka penulis membuka selebar-lebarnya bagi pembaca yang ingin memberikan saran dan kritik demi kesempurnaan Tesis ini, Akhir kata semoga Tesis ini dapat memberi manfaat dalam perkembangan ilmu pengetahuan di Indonesia khususnya di bidang *sains* dan teknologi dunia maritim.

Wassalamu'alaikum Wr. Wb

Surabaya, 8 Juli 2015

Penulis

DAFTAR ISI

Halaman Judul.....	i
Lembar Pengesahan	iii
Abstrak.....	v
Abstract	vii
Kata Pengantar	ix
Daftar Isi.....	xi
Daftar Gambar.....	xiii
Daftar Tabel	xv

BAB 1. PENDAHULUAN

I.1 Latar Belakang.....	1
I.2 Perumusan Masalah.....	3
I.3 Tujuan Penelitian.....	3
I.4 Manfaat Penelitian.....	4
I.5 Batasan Masalah.....	4

BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

2.1 <i>Bio Diesel Oil</i> (Biosolar)	5
2.2 <i>Natural Gas</i> (CNG)	6
2.3 <i>Dual Fuel System</i> (<i>Natural Gas – Biosolar</i>).....	8
2.4 <i>Performance</i> Mesin Diesel	12
2.4.1 Torsi dan Daya	12
2.4.2 <i>Specific Fuel Oil Consumption</i> (SFOC).....	13
2.4.3 Efisiensi Termal	14

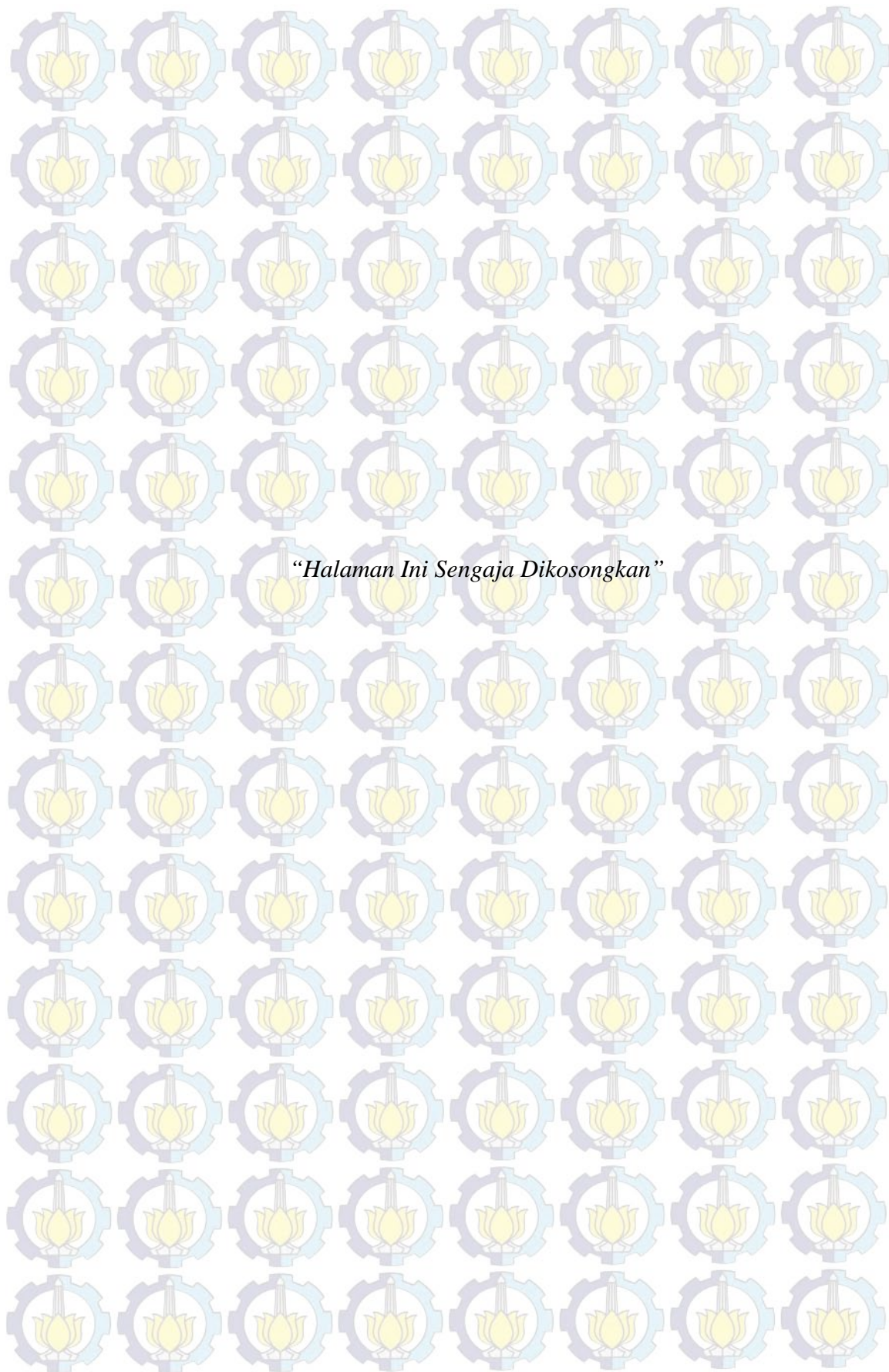
BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Perumusan Masalah.....	16
3.2 Studi Literatur.....	16
3.3 Persiapan Komponen Utama Sistem	16
3.4 Perakitan dan Modifikasi Sistem Bahan Bakar	18

3.4.1 Pemasukan Bahan Bakar Gas.....	18	
3.4.2 Pemasukan Bahan Bakar Biosolar	20	
3.5 Uji Eksperimen.....	21	
3.6 Pengambilan Data.....	22	
3.7 Analisa Data	22	
3.8 Kesimpulan dan Saran	23	
BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN		
4.1 Modifikasi Sistem Injeksi Bahan Bakar <i>Fuel Oil</i>	25	
4.2 Data Pengujian Mesin.....	28	
4.3 Analisis Performa Mesin	28	
4.3.1 Analisis Visual (Pengamatan Langsung pada Mesin).....	28	
4.3.2 Analisis Kinerja Mesin	29	
4.4 Pengaruh Penambahan CNG pada Konsumsi Bahan Bakar Motor Diesel .	38	
4.4.1 Rasio Perbandingan Harga antara <i>Diesel Mode</i> dengan <i>Gas Mode</i> ..	39	
4.4.2 Prosentase Penghematan Harga Bahan Bakar Dengan Gas Mode...	41	
BAB 5. KESIMPULAN DAN SARAN		
5.1 Kesimpulan.....	43	
5.2 Saran	43	
DAFTAR PUSTAKA		45
LAMPIRAN		
BIOGRAFI		

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Spesifikasi Bahan Bakar Biosolar.....	5
Tabel 2.2 Komposisi Gas Alam Berdasarkan BKI.....	7
Tabel 2.3 Tabel Propertis <i>Compressed natural gas</i> (CNG).....	7
Tabel 3.1 Spesifikasi Mesin dan Alat Ukur.....	17
Tabel 4.1 Perbandingan Kuantitas Semprotan tiap Injektor.....	26
Tabel 4.2 Tabel Besaran Harga Konsumsi Bahan Bakar Biosolar per Jam	39
Tabel 4.3 Tabel Besaran Harga Konsumsi Bahan Bakar <i>DF CNG</i> 1 per Jam.....	40
Tabel 4.4 Tabel Besaran Harga Konsumsi Bahan Bakar <i>DF CNG</i> 2 per Jam.....	40
Tabel 4.5 Tabel Besaran Harga Konsumsi Bahan Bakar <i>DF CNG</i> 3 per Jam.....	40



BAB 1

PENDAHULUAN

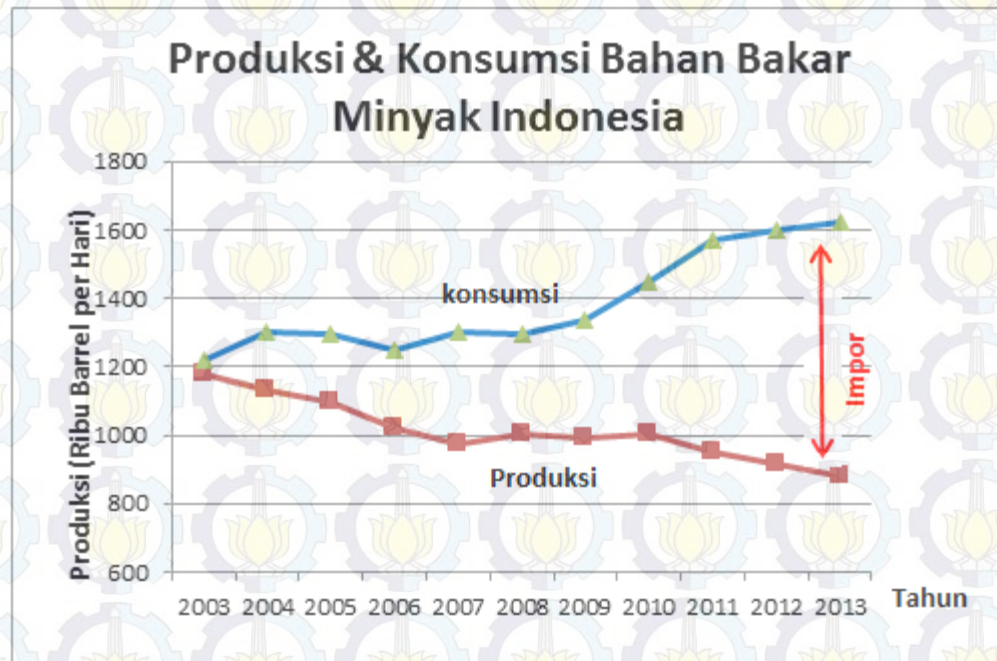
1.1 Latar Belakang

Perkembangan zaman yang semakin *modern* membuat ketergantungan manusia akan penggunaan mesin diesel juga semakin meningkat, mulai dari moda transportasi, industri dan sistem pembangkit tenaga listrik. Disisi lain, semakin meningkatnya penggunaan mesin diesel juga akan meningkatkan jumlah konsumsi minyak bumi khususnya biosolar sebagai bahan bakarnya. Sementara itu, cadangan minyak bumi Indonesia semakin hari semakin menipis dikarenakan tingkat kemampuan produksi yang ada hanya mencapai 800 – 900ribu barel per hari. Padahal, kebutuhan dalam negeri dari tahun ketahun terus meningkat mencapai 1,6 juta barel per hari.

Disisi lain, harga patokan BBM dari tahun ketahun selalu mengalami kenaikan harga, hal ini berdampak langsung kepada masyarakat khususnya golongan menengah kebawah, dimana dengan naiknya harga BBM mendorong naiknya harga bahan pokok lainnya. Upaya pemerintah untuk menekan harga BBM agar tidak terlalu memberatkan masyarakat dilakukan dengan cara menggelontorkan dana ratusan triliun. Berdasarkan data dari BPPT 2014 menyatakan bahwa pada tahun 2011 saja subsidi energi telah mencapai 195,3 triliun Rupiah dan meningkat secara signifikan menjadi 268 triliun Rupiah pada tahun 2013 guna mensubsidi BBM dengan maksud untuk mengendalikan harga jual BBM di dalam negeri.

BBM bersubsidi hanya diberikan pada beberapa jenis BBM tertentu, yaitu meliputi minyak tanah (*kerosene*) untuk rumah tangga, minyak solar (*Diesel oil*), dan premium di SPBU kecuali untuk industri, dan Bahan Bakar Nabati (BBN), serta LPG tabung 3 kg. Hal lain yang ikut berpengaruh terhadap nilai jual bahan bakar minyak adalah semakin besarnya jumlah konsumsi minyak tiap tahunnya yang tidak diimbangi dengan besarnya jumlah produksi minyak itu sendiri. (Dhany, 2013)

Gambar 1.1 menunjukkan rasio perbandingan antara produksi dan konsumsi minyak yang telah mencapai 650000 barrel per hari dan itu ditutupi dengan pengadaan impor (BP *Statistical Review*, 2014). Semakin besar jumlah konsumsi minyak tiap tahunnya mulai dari tahun 2003 sampai 2013 yang tidak dibarengi dengan besaran jumlah produksinya, menambah beban bagi pemerintah untuk memenuhi kebutuhan primer masyarakat akan bahan bakar minyak.



Gambar 1.1. Produksi dan Konsumsi Bahan Bakar Minyak di Indonesia
(BP *Statistical Review of World Energy June*, 2014)

Pemerintah telah mengeluarkan berbagai kebijakan untuk mengurangi penggunaan BBM. Kebijakan tersebut diantaranya adalah konversi minyak tanah dengan gas untuk sektor rumah tangga, penggunaan bahan bakar gas (BBG) untuk sektor transportasi, dan mandatori penggunaan bahan bakar nabati (BBN) yang berlaku untuk industri, transportasi, dan pembangkit listrik (BPPT, 2014). Kementerian ESDM meyakini potensi cadangan gas Indonesia masih dapat bertahan 59 tahun lagi, dengan cadangan gas mencapai 170 TSCF (*trillion square cubic feet*) dan produksi per tahun mencapai 2,87 TSCF. Se jauh ini potensi yang diprediksi untuk pengolahan gas alam di Indonesia semakin bertambah. Dengan jumlah tersebut, kemungkinan untuk menjadikan gas alam sebagai pengganti bahan bakar minyak sangat besar.

Sebuah metode baru mulai dikembangkan yaitu dengan menggunakan *system dual fuel* bahan bakar campuran antara *diesel oil* dengan *Natural Gas* yang biasa disebut dengan diesel bahan bakar ganda atau *Diesel Dual Fuel* (DDF). Dengan menambahkan CNG pada mesin solar akan menjadikan performa mesin menjadi lebih baik dan meningkatkan karakteristik dari emisi pada mesin dibandingkan dengan penggunaan bahan bakar diesel murni (Yusaf. Dkk, 2009).

Pada tesis ini akan dirancang sebuah sistem diesel bahan bakar ganda atau *Diesel Dual Fuel* (DDF) dengan menggunakan tambahan bahan bakar gas, yaitu *Natural Gas* dan selanjutnya akan divariasikan jumlah konsumsi bahan bakarnya hingga didapatkan performa mesin yang lebih baik. Disamping itu, akan dilakukan perbandingan performa mesin dengan variasi sampel bahan bakar yang akan diujikan sehingga dapat dilihat tingkat posisi kombinasi bahan bakar yang lebih efektif dan lebih efisien yang dapat diterapkan pada mesin diesel ini.

Berdasarkan uraian diatas, penulis mengajukan penelitian dalam bentuk Tesis dengan judul:

“Kajian Eksperimental Penggunaan *Natural Gas* dan Biosolar pada Mesin Diesel”

1.2 Perumusan masalah

Berdasarkan latar belakang yang diuraikan diatas maka dapat dirumuskan permasalahan sebagai berikut :

1. Bagaimanakah modifikasi sistem injeksi untuk mengurangi konsumsi bahan bakar *fuel oil*?
2. Apakah pengaruh dari penambahan *Natural Gas* terhadap performa mesin *diesel*?

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Memodifikasi sistem injeksi bahan bakar untuk mengurangi kuantitas injeksi bahan bakar *fuel oil*.

2. Mengetahui pengaruh dari penambahan *Natural Gas* terhadap performa mesin yanmar TF 85 MH

1.4 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Memberikan informasi tentang proses modifikasi sistem injeksi bahan bakar *fuel oil* dengan mode *Dual Fuel* pada mesin diesel.
2. Memberikan rekomendasi tentang pemakaian bahan bakar yang efektif dan efisien dari penggunaan *mode dual fuel diesel engine*.

1.5 Batasan Masalah

Agar pembahasan dalam laporan ini tidak meluas, maka perlu diberi batasan masalah antara lain sebagai berikut :

1. Proses modifikasi akan dititikberatkan pada instalasi injeksi *fuel oil* sebagai pengembangan dari modifikasi sistem penginjeksian natural gas pada penelitian sebelumnya.
2. Mesin yang digunakan dalam penelitian ini adalah mesin diesel yanmar TF 85 MH empat langkah.
3. Tidak meneliti pengaruh dari pencampuran bahan bakar *Natural Gas* dengan *fuel oil* terhadap efek keausan, ketahanan, dan umur mesin karena membutuhkan waktu pengamatan yang cukup lama.

BAB 2

KAJIAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

2.1 *Bio Diesel Oil (Biosolar)*

Bahan bakar Bio diesel oil (*Biosolar*) merupakan campuran solar dengan minyak nabati yang didapatkan dari minyak kelapa sawit atau *crude palm oil* (CPO). Sebelum dicampurkan, minyak kelapa sawit direaksikan dengan methanol dan ethanol dengan katalisator NaOH atau KOH untuk menghasilkan *fatty acid methyl ester* (FAME). Untuk Biosolar jenis B-10 yang dijual saat ini mengandung 90 persen minyak solar dan 10 persen campuran FAME.

Dengan kandungan minyak nabati, biosolar menjadi lebih ramah lingkungan yang dapat diperbarui dan terurai secara alami. Emisi gas buang Biosolar lebih rendah karena pembakaran yang lebih sempurna, sehingga dapat mengurangi polusi udara jika digunakan secara berkelanjutan. Selain itu, Biosolar juga mampu memperpanjang umur mesin karena memiliki sifat *detergensi*/pembersih. Untuk angka *cetane* sendiri, biosolar memiliki angka *cetane* 51 hingga 55 atau lebih tinggi daripada solar standar yang sekitar 48 (Sutomo, 2011). Padahal, makin tinggi angka *cetane*, makin sempurna pembakaran sehingga polusi dapat ditekan. Kerapatan energi pervolume yang diperoleh juga makin besar. Selain itu, campuran FAME menurunkan sulfur sehingga tidak lebih dari 500 ppm. Untuk masalah harga sendiri, biosolar dilepas ke pasaran dengan harga setara dengan harga produk Solar bersubsidi. Biosolar termasuk bahan bakar ramah lingkungan yang dapat diperbarui dan terurai secara alami.. Angka cetan bahan bakar diesel untuk mesin diesel dengan kecepatan tinggi mempunyai harga antara 40 – 60. (Hardjono, 2000)

Table 2.1. Spesifikasi Bahan Bakar Biosolar

No.	Karakteristik	Satuan	Batasan	
			Min	Maks
1	Angka Setana	-	51	-
2	Berat Jenis pada 15°C	Kg/m ³	-	848,2
3	Viscositas (pada suhu 40°C)	mm ² /sec	2	5
4	Kandungan Sulfur	ppm	-	1207
5	Distilasi Temp. 95	°C	-	370

6	Titik Nyala	°C	73	-
7	Titik Tuang	°C	-	18
8	Residu Karbon	% m/m	-	0.1
9	Kandungan Air	% vol	-	<0,05
10	Biological Growth*)	-	Nihil	
11	Kandungan FAME*)	% v/v	-	10

*Spesifikasi sesuai Test Report Biosolar, Number test 1899/2008 S-2, QQ Depo Plumpang Jakarta utara, Number Memo 240/QQ/PP/PLP/X/2008, tanggal 14 Oktober 2008 @ PT Pertamina (Persero) Corporate Website

Kualitas dari bahan bakar mesin diesel diukur dengan bilangan setananya yang menjadi ukuran dari kualitas penyalan bahan bakar yang mengindikasikan kesiapan bahan bakar mesin diesel untuk menyala secara spontan pada kondisi temperatur dan tekanan tertentu di ruang bakar. Bilangan setan yang lebih tinggi berarti bahan bakar akan memberikan pembakaran yang lebih cepat (*auto-ignition* nya lebih cepat). Nilai setan untuk biosolar sendiri berkisar 46–60. Semakin tinggi Rpm dari mesin diesel, maka semakin tinggi angka setan yang diperlukan (Vermeire, 2007)

2.2 Natural Gas

Gas alam adalah jenis dari bahan bakar fosil yang berbentuk gas. Gas alam merupakan campuran hidrokarbon yang mempunyai daya tekan tinggi, berat jenis spesifik yang rendah dan secara alamiah terdapat dalam bentuk gas. Pada umumnya gas alam terkumpul di bawah tanah dengan berbagai macam komposisi yang terdapat dalam kandungan minyak bumi (*associated gas*) terutama metana (CH₄). Selain dari metana, gas alam juga terdiri dari etana, propana, butana, dan propana. Definisi serupa tertera dalam Rules BKI 2013 Part 1, Volume 24, Section 1, C.22, yakni gas alam (*natural gas*) merupakan suatu gas tanpa adanya kondensasi pada kondisi tekanan operasional dan temperatur yang lazim, dimana komponen yang dominan adalah methane dengan sebagian kecil etane dan sedikit hidrokarbon berat semisal *propane* dan *butane*. (Challen, 1999).

Tabel 2.2 Komposisi Gas Alam Berdasarkan BKI

<i>Methane (C1)</i>	94%
<i>Ethane (C2)</i>	4.7%
<i>Propane (C3)</i>	0.8%
<i>Butane (C4+)</i>	0.2%
<i>Nitrogen</i>	0.3%
<i>Density Gas</i>	0.73 kg/sm ³
<i>Density Liquid</i>	0.45 kg/dm ³
<i>Calorific value (low)</i>	49.5 MJ/kg
<i>Methane Number</i>	83

(Sumber: BKI 2013 Part 1, Volume 24, Foreword, F)

Gas alam merupakan komponen penting dari pasokan energi dunia. Gas alam adalah salah satu gas yang terbersih, paling aman, dan paling bermanfaat dari semua sumber energi karena hanya menghasilkan karbon dioksida, uap air, dan sedikit nitrogen oksida ketika dibakar. (Clarke, 2012)

Sebagian besar gas alam dibentuk oleh dua mekanisme yaitu biogenik dan thermogenik. Gas biogenik dibentuk oleh organisme metanogen di rawa-rawa, tempat pembuangan sampah dan sedimen dangkal. Dibagian bumi yang lebih dalam pada suhu dan tekanan yang lebih besar gas thermogenik terbentuk dari bahan-bahan organik yang terkubur.

Sementara untuk *Compressed natural gas* (CNG) merupakan gas alam yang mengalami kompresi agar dapat digunakan sebagai bahan bakar pada kendaraan. Propertis dari CNG dapat dilihat pada tabel 2.3 berikut.

Tabel 2.3 Tabel Propertis *Compressed natural gas* (CNG)

<i>Properties</i>	<i>Value</i>
<i>Density (kg/m³)</i>	0,72
<i>Flammability limits (volume % in air)</i>	4,3-15
<i>Autoignition temperature in air (°C)</i>	723
<i>Minimum ignition energy (mJ)</i>	0.28
<i>Flame velocity (ms-1)</i>	0.38
<i>Adiabatic flame temperature (K)</i>	2214
<i>Stoichiometric fuel/air mass ratio</i>	0.058
<i>Stoichiometric volume fraction (%)</i>	9.48
<i>Lower heating value (MJ/kg)</i>	45.8
<i>Heat of combustion (MJ/kg air)</i>	2.9

Sumber: Semin, et al: 2008.

Kualitas dari bahan bakar CNG sendiri berbeda dengan bahan bakar Biosolar, jika biosolar diukur dengan bilangan setannya, maka untuk CNG sendiri diukur dengan bilangan oktan. Dengan bilangan oktan yang lebih tinggi, maka CNG akan memiliki ketahanan terhadap *auto-ignition*. Nilai oktan dari CNG sendiri adalah 120 dan sangat ramah lingkungan. (Palupi. 2012)



Gambar 2.1 Tabung CNG (*Compressed Natural Gas*).

2.3 Dual Fuel System (Natural Gas-Biosolar)

Penelitian tentang pengujian mesin dengan menggunakan bahan bakar ganda (*Dual Fuel Engine*) sebagai bahan bakar alternatif dalam mesin pembakaran dalam (*internal combustion engine*) telah banyak dilakukan di berbagai Negara termasuk di Indonesia. Dengan objek mesin diesel maupun mesin *otto* serta *natural gas* LPG maupun CNG. Dalam pemakaian bahan bakar CNG ada beberapa tipe pemakaian sistem bahan bakar, antara lain: *dual-fuel*, *bi-fuel* dan *dedicated* atau *single fuel* (Gopal *et al.* 2012).

Talal F. Yusaf dan Kyunghyun Ryu dengan karakteristik penelitian yang hampir sama telah menguji tingkat performa mesin diesel yang berbahan bakar ganda, hasil penelitian dengan menggunakan *system dual fuel engine* serta pengaturan terhadap tekanan penginjeksian *diesel oil* memberikan dampak yang cukup positif seperti nilai performa mesin yang lebih baik serta emisi gas buang yang lebih rendah dibandingkan dengan penggunaan bahan bakar standar.

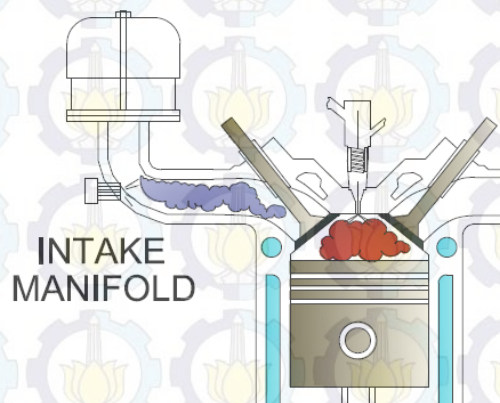
Jie Liu dan Bo Yang melakukan pengujian pada mesin diesel dengan bahan bakar LPG dikombinasikan dengan *Diesel Oil* memberikan tingkat performa mesin yang cukup baik dibandingkan dengan performa mesin saat menggunakan bahan bakar mode *single fuel (Diesel Oil)*. Penambahan LPG pada mesin selain

membuat performa mesin yang dihasilkan lebih baik juga disertai dengan menurunnya tingkat emisi yang dihasilkan.

Arif Wahyu Hidayat melakukan eksperimen dengan objek penelitian mesin Diesel yang berbahan bakar ganda antara CNG dan Solar, Hasil dari ekeperimen menunjukkan daya dan torsi dengan menginjeksikan 20% CNG masing-masing menurun 0,92% dan 0,70%. Sementara konsumsi bahan bakarnya menurun 0,97% jika dibandingkan dengan penggunaan solar murni.

Puji Dian Wijaya melakukan metode pengujian dengan cara menginjeksikan beberapa variasi bahan bakar yaitu solar murni dan bahan bakar dengan modifikasi penambahan CNG sebesar 10% dan 20% tanpa mengurangi kuantitas solar, dengan kata lain modifikasi hanya dilakukan pada instalasi CNG yang telah dibuat sebelumnya. Hasil penelitian secara keseluruhan memberikan performa mesin yang semakin baik seiring dengan bertambahnya volume CNG yang diinjeksikan.

Mesin diesel bahan bakar ganda sendiri atau biasa disingkat dengan *Diesel Dual Fuel* (DDF) merupakan jenis dari mesin standar diesel yang ditambahkan jenis bahan bakar lain di bagian *intake manifold* mesin diesel, tergantung dari jenis dari bahan bakar yang ditambahkan, pada Gambar 2.3 terlihat gambaran injeksi bahan bakar gas kedalam ruang bakar melalui *intake manifold* mesin, saat katup isap terbuka, gas yang diinjeksikan melalui *intake manifold* ikut masuk kedalam ruang bakar bersamaan dengan oksigen.



Gambar 2.3 Sistem injeksi *Diesel Dual Fuel* (Wijaya. Dkk. 2014)

Sementara itu, berdasarkan *Rules* BKI 2013, Part 1, Volume 24, *Section* 1.C.6. yang dimaksud dengan *Diesel Dual Fuel Engine* adalah motor yang dapat menggunakan bahan bakar gas alam sekaligus solar (*oil fuel*). Atau bisa diartikan dengan motor yang dapat dioperasikan dengan *oil fuel* saja atau hanya dengan gas alam saja. Pada modifikasi motor diesel normal menjadi *dual fuel*, udara murni yang dihisap akan dicampurkan dengan gas LPG, sehingga hanya sedikit volume Biosolar yang dibutuhkan supaya terjadi ledakan. Motor diesel bahan bakar campuran gas kebanyakan menggunakan *intake valve* untuk memasukan gas bersamaan dengan udara murni. Pengoperasian dengan *mode dual fuel* ini dapat mengurangi emisi-emisi *oksida nitrogen* (NO_x) mendekati 85%. Selain itu, pada saat beroperasi dengan gas alam dan bahan bakar berkadar belerang rendah, motor-motor diesel berbahan bakar ganda menghasilkan level-level kandungan SO_x dan arang-para nyaris nol. (Hidayat A.W, 2014).

Jika terjadi gangguan pasokan gas, motor diesel dual fuel akan mengganti pengoperasiannya dari gas menjadi pengoperasian bahan bakar minyak (Biosolar) pada beban berapapun secara otomatis. Selama pengoperasian bahan bakar minyak, motor *dual fuel* menggunakan proses diesel konvensional. Karena pada dasarnya sistem *dual fuel* ini adalah motor diesel biasa, maka apabila terjadi gangguan, sistem akan secara otomatis pindah ke diesel konvensional walau motor sedang beroperasi. (Challen, 1999).

Bahan bakar alternatif yang banyak diaplikasikan dalam modifikasi *Dual Fuel Diesel Engine* adalah bahan bakar gas, dimana gas (LNG) tersebut dicampurkan dengan udara segar di *intake manifold* (atau disuntikkan ke dalam silinder) dan dimasukkan ke dalam silinder dan dinyalakan oleh sejumlah kecil bahan bakar diesel ketika piston mendekati akhir langkah kompresi (TMA kompresi). Partikel-partikel bahan bakar halus bercampur dengan udara untuk membentuk campuran yang mudah terbakar yang kemudian menyatu karena suhu tinggi. Ledakan yang menghasilkan pembakaran dari kompresi tersebut kemudian ikut membakar gas secara langsung karena sudah bercampur dengan udara dan solar. (Ehsan, 2009)

Sebelum pengoperasian *converter kit* atau penginjeksian bahan bakar gas, motor diesel tersebut dijalankan terlebih dahulu selama kurun waktu tertentu

dengan bahan bakar solar. Beban yang diberikan untuk proses ini kurang lebih hanya setengah beban maksimal. Beban ini dipertahankan sampai motor mencapai kondisi operasi normal (*idle*). Untuk dioperasikan dengan menggunakan mode *dual fuel*, kondisi motor tetap dipertahankan pada kondisi yang sama ketika hanya membutuhkan bahan bakar diesel saja. Dengan mengurangi kuantitas bahan bakar solar dan sekaligus membuka katup kontrol CNG, motor bisa dioperasikan untuk kecepatan dan beban yang diinginkan. (Wijaya. 2014).

Langkah pertama dari sistem ini adalah bahan bakar gas CNG yang berada dalam tabung bertekanan tinggi dikeluarkan dengan menurunkan terlebih dahulu tekanannya dengan menggunakan *Pressure Regulator* sampai tekanannya sesuai dengan kebutuhan konsumsi bahan bakar. Setelah dilakukan penurunan tekanan, gas akan dilewatkan ke *safety valve* dengan tujuan jika ada *over pressure gas* akan dikeluarkan dari sistem. *Safety valve* juga dapat difungsikan sebagai *emergency stop*. (Wijaya. 2014).

Dalam pengaplikasian sistem *dual fuel* ini ada beberapa keuntungan dan kelemahan. Keuntungan utama yang didapatkan adalah :

- Motor diesel tidak membutuhkan perubahan besar pada konstruksinya.
- Motor diesel tetap dapat menggunakan bahan bakar diesel secara normal.
- Teknologi yang diaplikasikan relatif mudah dan murah.

Sedangkan beberapa kelemahannya, antara lain :

- Sulit melakukan kontrol sudut awal penyalaan
- Penghematan bahan bakar minyak belum maksimal, karena masih dibutuhkan bahan bakar minyak dalam pengoperasiannya.

Untuk kombinasi pencampuran Oil-Natural Gas merupakan suatu sistem bahan bakar yang menggunakan dua jenis bahan bakar sekaligus di dalam bekerjanya motor penggerak yaitu *Natural Gas-Biosolar*. Pada penjelasan yang lain mengenai sistem bahan bakar gas campuran dengan *oil* telah dikemukakan oleh beberapa penelitian seperti pada penggunaan sistem bahan bakar campuran CNG. CNG bercampur udara di *mixer* masuk ke dalam silinder motor penggerak, kemudian dikompresi di ruang bakar motor penggerak untuk selanjutnya terbakar bersama solar (Oktavian, 2011). Campuran CNG dan Solar menjadikan performa

mesin menjadi lebih baik dan meningkatkan karakteristik emisi dibandingkan dengan bahan bakar diesel murni (Yusaf, 2009).

Oleh karena itu, berdasarkan penelitian yang telah dilakukan diatas, maka akan dilakukan pengujian lanjutan dengan tujuan memaksimalkan penggunaan CNG dan mengurangi konsumsi bahan bakar minyak. Penelitian dengan pengembangan instalasi yang sebelumnya telah dibuat dan diujikan oleh wijaya dan hidayat akan dikembangkan lagi berupa modifikasi instalasi bahan bakar *fuel oil* berupa pemasangan sim pada *spring* injektor atau biasa disebut dengan *packing injector* guna menekan dan mengurangi kuantitas bahan bakar minyak yang diinjeksikan.

2.4 Performance Mesin Diesel

Performance mesin adalah kemampuan mesin dalam melakukan putaran untuk menghasilkan tenaga atau *power*. Untuk mengetahui tingkat prestasi sebuah mesin, maka dapat dilihat dari beberapa parameter, diantaranya Daya efektif (N_e), Torsi dan Konsumsi bahan bakar spesifik (SFC) dan Efisiensi Termal Mesin.

Pudjanarsa dkk, (2008) menjelaskan ada beberapa parameter yang digunakan untuk mengevaluasi performa mesin, antara lain:

2.5.1 Torsi dan Daya

Torsi secara sederhana diartikan sebagai momen puntir. Pada motor diesel, torsi didefinisikan sebagai momen yang dihasilkan akibat tekanan dari piston yang menghasilkan putaran pada sumbu longitudinal dalam hal ini adalah poros engkol. Sedangkandaya diidentikkan dengan kemampuan suatu mesin untuk melakukan kerja (Pounder's, 2004). Daya menunjukkan kemampuan suatu mesin untuk memindahkan atau menahan beban tiap satuan waktu.

Torsi dan daya sangat erat kaitannya satu sama lain. Masing-masing merupakan *output* dan fungsi dari putaran mesin. Untuk menghitung torsi dan daya dapat menggunakan rumus berikut:

$$P_B = \frac{2\pi n}{60} T \dots\dots\dots (3.1)$$

Dimana :

P_B = Daya keluaran (watt)

N = putaran mesin (rpm)

T = Torsi (N.m)

2.5.2 *Specific Fuel Consumption (SFC)*

Specific Fuel Consumption atau pemakaian bahan bakar spesifik adalah jumlah bahan bakar yang digunakan untuk setiap satuan daya yang dihasilkan dalam waktu 1 jam, dinyatakan dalam kg/kWh. Faktor-faktor yang mempengaruhi SFC yaitu (Pudjanarsa dkk, 2008):

1. Pembebanan pada motor diesel
2. Putaran motor diesel
3. Kecepatan laju aliran bahan bakar
4. Daya efektif motor diesel

Untuk menghitung SFC digunakan rumus sebagai berikut:

$$SFC = \frac{m_f \times 10^3}{P_B} \dots \dots \dots (3.2)$$

Dimana :

SFC = konsumsi bahan bakar spesifik (g/kWh)

m_f = laju aliran bahan bakar (kg/jam)

P_B = Daya keluaran (watt)

Besarnya laju aliran massa bahan bakar (m_f) dihitung dengan persamaan berikut :

$$m_f = \frac{sg_f \cdot V_f}{t_f} \times 3600 \dots \dots \dots (3.3)$$

Dimana :

Sg_f = Spesifik gravity (kg/liter)

V_f = volume bahan bakar yang diuji (liter)

t_f = waktu untuk konsumsi bahan bakar sebanyak sejumlah V_f (detik)

2.5.3 Efisiensi Termal

Efisiensi termal menyatakan perbandingan antara daya yang dihasilkan terhadap jumlah energi bahan bakar yang diperlukan untuk jangka waktu tertentu atau bisa juga disederhanakan sebagai efisiensi pemanfaatan panas bahan bakar menjadi tenaga mekanik. Kerja efektif yang dihasilkan selalu lebih kecil dari pada energi yang dihasilkan oleh piston, karena sejumlah energi hilang akibat adanya rugi-rugi mekanis. Rumus yang digunakan untuk menghitung efisiensi termal adalah sebagai berikut (Pudjanarsa dkk, 2008):

$$\eta_{th} = \frac{\text{Energi yang berguna}}{\text{Energi yang diberikan}} \times 100\% \quad \dots\dots\dots (3.5)$$

Sedangkan laju panas yang masuk (Q), dapat dihitung dengan rumus berikut :

$$Q = m_f \cdot LHV \dots\dots\dots (3.6)$$

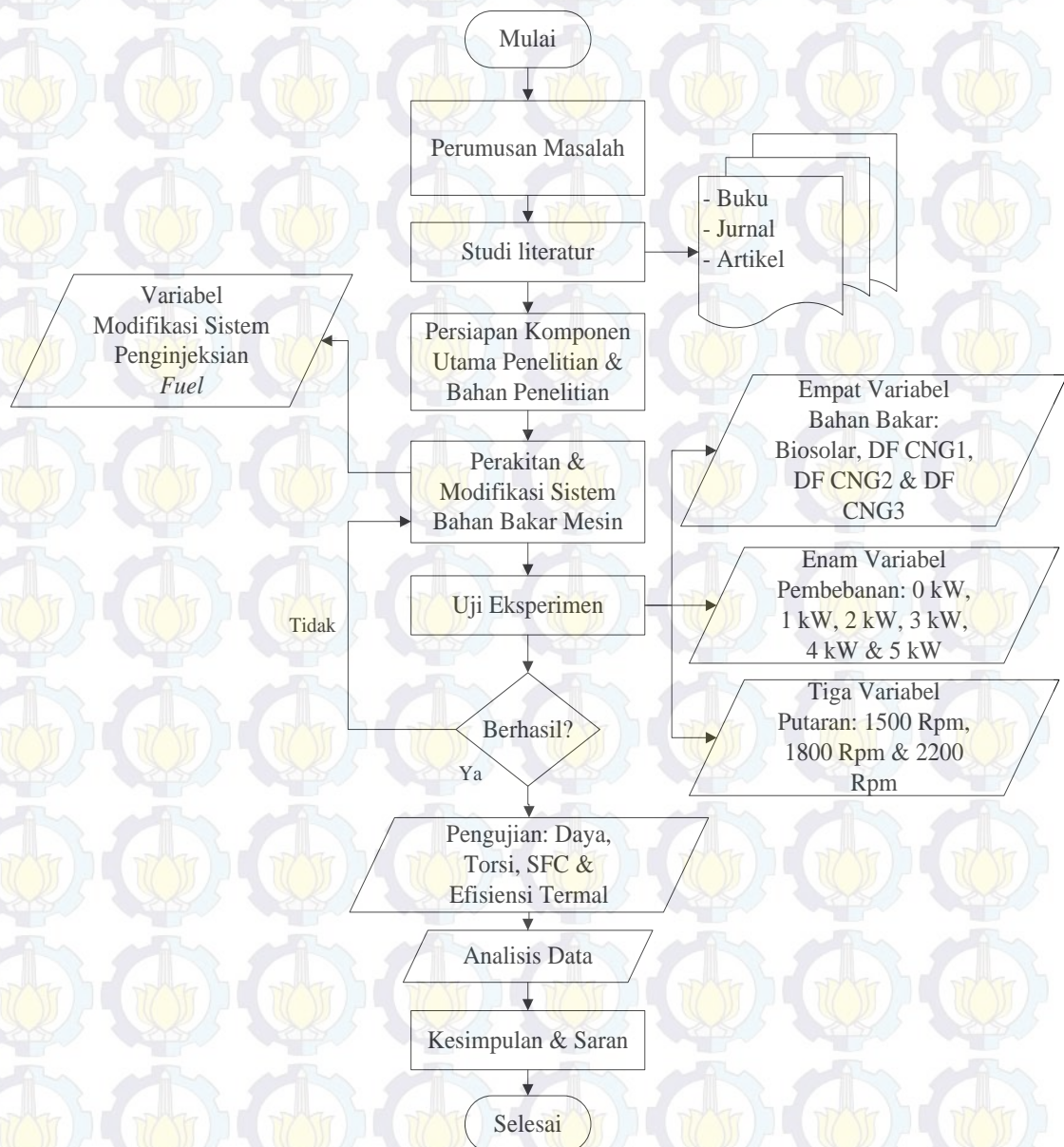
Dimana LHV : nilai kalor bawah bahan bakar (kJ/kg)

Jika daya keluaran (PB) dalam satuan kW, laju aliran bahan bakar m_f dalam satuan kg/jam, maka :

$$\eta_b = \frac{P_B}{m_f \cdot LHV} \times 3600 \dots\dots\dots (3.7)$$

BAB 3 METODE PENELITIAN

Jenis penelitian yang digunakan adalah dengan metode eksperimental dimana penelitian ini merupakan pengembangan dari penelitian sebelumnya yang mana akan difokuskan pada penghitungan besaran performa yang dihasilkan oleh mesin diesel yanmar TF 85 MH berdasarkan variasi konsumsi bahan bakar campuran yang diinjeksikan. Secara skematis, metodologi dari penelitian ini ditunjukkan dengan Gambar 3.1 tentang *Flowchart* penelitian .



Gambar 3.1. *Flowchart* Pelaksanaan Penelitian

3.1 Perumusan Masalah

Permasalahan yang diambil pada tesis ini yaitu bagaimana perancangan sistem injeksi bahan bakar Biosolar pada mesin diesel Yanmar TF 85 Mh. Kemudian selanjutnya apakah dengan pemodifikasian sistem injeksi Biosolar pada mesin diesel tersebut dapat menekan jumlah konsumsi bahan bakar yang diinjeksikan, tahapan akhir dari penelitian adalah pengujian performa mesin, hal ini dilakukan untuk mendapatkan hasil uji performa dari modifikasi *dual fuel diesel engine*.



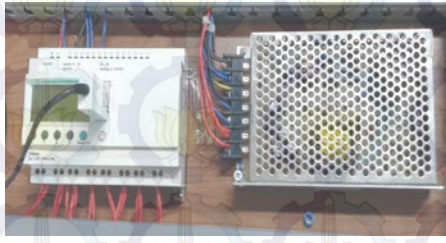

3.2 Studi Literatur



Sebuah studi literatur merupakan survei dan pembahasan literatur pada bidang tertentu dari suatu penelitian. Studi ini merupakan gambaran singkat dari apa yang telah dipelajari, argumentasi, dan ditetapkan tentang suatu topik, dan biasanya diorganisasikan secara kronologis atau tematis. Pada penelitian ini akan diambil beberapa referensi yang menjelaskan tentang prinsip kerja dari mesin diesel *dual fuel*, proses modifikasi mesin standar menjadi mesin diesel *dual fuel*, system pengontrolan untuk mesin diesel *dual fuel* serta data-data teknis tentang perhitungan performa mesin *dual fuel*. Referensi-referensi yang digunakan untuk rancang bangun dan modifikasi *engine dual fuel system* ini dapat dicari melalui berbagai media, antara lain: buku, jurnal, artikel, internet, dan lain – lain. Berikut ini adalah sebagian dari referensi yang dijadikan acuan oleh penulis dalam pengerjaan tesis ini.

3.3 Persiapan Komponen Utama Sistem

Mesin diesel sebagai objek percobaan Motor diesel yang digunakan adalah Yanmar TF85MH. Motor diesel Yanmar TF85MH merupakan motor diesel bertipe *direct injection*, data-data peralatan dan bahan penunjang yang lain dapat dilihat pada Tabel 3.1 berikut:

Tabel 3.1 Spesifikasi Mesin dan Alat Ukur

No.	Mesin dan Alat	Spesifikasi
1	<p><i>Engine Diesel dan Generator Daiho</i></p> 	<ul style="list-style-type: none"> ❖ <i>Merk Diesel Yanmar</i> ❖ <i>Type: TF 85 MH</i> ❖ <i>Model: 1 Silinder Diesel 4 langkah</i> ❖ <i>Bore x Stroke: 85 mm x 87 mm</i> ❖ <i>Displacement: 493 cc</i> ❖ <i>Continous Power: 7.5 KW/2200 rpm</i> ❖ <i>Compression Ratio: 18</i> ❖ <i>Specific Fuel Consumption: 171 gr/HP h</i> ❖ <i>Volume per Injection: 0.07 mL</i> ➤ <i>Merk Generator Daiho</i> ➤ <i>Type: ST-6</i> ➤ <i>Voltage - 230 V – 26,1 A (AC)</i> ➤ <i>Max AC Output: 6 KW</i> ➤ <i>Frequency : 50 Hz</i> ➤ <i>Loading System: Electric Bulb System</i> <i>Electric Control: Voltmeter, Amperemeter, Switch</i>
2	<p><i>Flow Meter</i></p> 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ <i>Gas Service: CO2 and Argon</i> ➤ <i>Max. Inlet: 23 MPa</i> ➤ <i>Max. Outlet: 4 MPa</i> ➤ <i>Max. Flow : 25 LPM</i> ➤ <i>Inlet Connection: G5mm</i>
3	<p><i>PLC dan Power Supply</i></p> 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ <i>PLC Merk: Schneider</i> ➤ <i>Type: Programmable Zelio Smart Relay</i> ➤ <i>Total Input: 12 Terminal</i> ➤ <i>Total Output Relay: 8 Terminal</i> ➤ <i>Power Supply Merk: Omron S8 JC-Z10024CD 24V DC</i>
4	<p><i>Valve dan Flow Control</i></p> 	<ul style="list-style-type: none"> ❖ <i>Electric Valve</i> ❖ <i>Type: scp DL-6C</i> ❖ <i>Tegangan Kerja : 200-240 Vac</i> ➤ <i>Flow Control Merk : AutoTech RE-02</i> ➤ <i>Working medium : Air, Gas, Fluids</i> ➤ <i>Working Pressure : 0.15 – 0.8 MPa (1.5 – 8 Bar)</i>

5	Kontrol Panel 	<ul style="list-style-type: none"> ❖ <i>Push Button Type</i>:SWA1SAR-G10 6 unit ❖ <i>Emergency Button Type</i>:POWEL XB2-BE102 ❖ : 110Vdc 6 Ampere
6	<i>Tachometer Digital</i> 	<i>Display:</i> 6 Digit LCD Display <i>Accuracy:</i> +/- 10 RPM <i>RPM Display Interval:</i> 0.5 Second <i>Power Supply:</i> 1 x 9 Volt Battery
7	Stop Watch 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ <i>Merk</i> : Casio ➤ <i>Tipe</i> : HS-3 ➤ <i>Akurasi</i> : 0.01 detik

3.4 Perakitan dan Modifikasi Sistem Bahan Bakar

Perakitan dan modifikasi sistem difokuskan pada dua variabel yaitu variabel injeksi bahan bakar *natural Gas* dan variabel injeksi Biosolar.

3.4.1 Pemasukan Bahan Bakar Gas

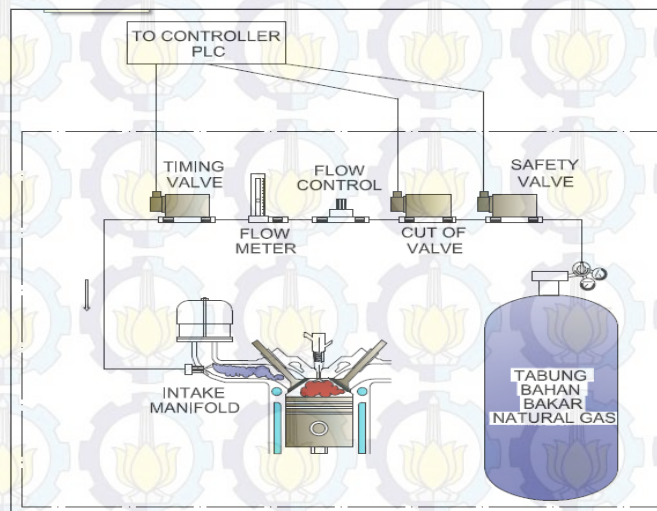
Bahan bakar alternatif (CNG) dicampurkan dengan udara segar di *intake manifold* (atau disuntikkan ke dalam silinder) dan dimasukkan ke dalam silinder dan dinyalakan oleh sejumlah kecil bahan bakar diesel ketika piston mendekati akhir langkah kompresi (TMA kompresi). Partikel-partikel bahan bakar halus bercampur dengan udara untuk membentuk campuran yang mudah terbakar yang kemudian menyatu karena suhu tinggi. Ledakan yang menghasilkan pembakaran dari kompresi tersebut kemudian ikut

membakar gas secara langsung karena sudah bercampur dengan udara dan Biosolar. (Challen, 1999).

Langkah pertama dari sistem ini adalah bahan bakar gas (CNG) yang berada dalam tabung bertekanan tinggi (kurang lebih 200 bar) dikeluarkan dengan menurunkan terlebih dahulu tekanan kompresi gas dengan menggunakan *Pressure Regulator* sampai tekanan sesuai dengan kebutuhan konsumsi bahan bakar. Setelah dilakukan penurunan tekanan, CNG akan dilewatkan ke *safety valve* dengan tujuan jika terjadi *over pressure*, maka gas akan dikeluarkan dari sistem dan sistem secara otomatis berhenti beroperasi (*off*). *Safety valve* juga dapat difungsikan sebagai *emergency stop*. (Wijaya. dkk, 2014)

Katup kedua yang dilewati oleh CNG adalah *cut off valve*. Fungsi utama dari katup ini adalah sebagai katup *on* dan *off* dari sistem ini. Jadi ada 2 katup yang berfungsi sebagai *safety system* dari *konverter kit* ini. Komponen berikutnya yang dilewati oleh CNG adalah *flow control*. Pada sistem ini, *flow control* berfungsi sebagai pengatur atau pengendali besar kecilnya aliran fluida (debit). Untuk mengkalibrasi jumlah debit dari CNG, dapat dilihat dengan menggunakan *flowmeter* yang diletakan setelah *flow control* ini. (Wijaya. dkk, 2014)

Proses injeksi bahan bakar gas (CNG) ke *intake manifold*, dibutuhkan waktu (*timing*) yang tepat. Waktu penginjeksian gas ini diatur oleh katup *timing* yang letaknya berada didekat *intake manifold*. Setiap kali sensor membaca tanda yang sudah dibuat di *gear*, *timing valve* ini secara otomatis akan membuka. Dan ketika sudah tidak ada inputan dari sensor, katup *timing* ini akan menutup. Durasi membukanya katup *intake* adalah selama 0,035 detik (Wijaya. Dkk, 2014) .



Gambar 3.2 Instalasi injeksi *Natural Gas* (Wijaya. 2014)

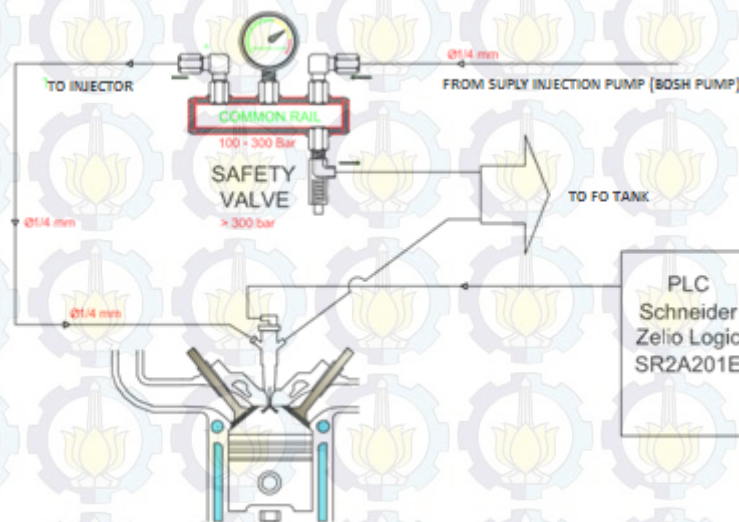
3.4.2 Pemasukan Bahan Bakar Biosolar

Pada motor diesel, bahan bakar diinjeksikan ke dalam udara terkompresi di dekat TMA. Pembakaran diawali oleh penyalaan sendiri (penyalaan kompresi), pada saat bahan bakar menguap dan bercampur dengan udara silinder yang bertekanan dan bertemperatur tinggi. Injeksi bahan bakar harus disertai dengan tekanan tinggi dan pewaktuan tertentu. Tujuan utamanya adalah untuk memperoleh pencampuran bahan bakar - udara yang cukup cepat di dalam ruang bakar. Injeksi bahan bakar sendiri dapat dikatakan sebagai sebuah teknologi yang digunakan dalam mesin pembakaran dalam untuk mencampur bahan bakar dengan udara sebelum dibakar.

Disamping beberapa syarat yang harus diperlukan, bahan bakar yang disemprotkan itu harus habis terbakar sesuai dengan *performance* yang diharapkan, fungsi penyemprot harus menginjeksikan bahan bakar kedalam silinder sesuai kebutuhan, kemudian mengabutkan bahan bakar sesuai dengan derajat pengabutan yang diminta serta mendistribusikan bahan bakar untuk memperoleh pembakaran yang sempurna dalam waktu yang ditetapkan.

Untuk sistem pemasukan bahan bakar Biosolar pada mesin diesel standar yang diubah menjadi *Dual Fuel Diesel Engine* sendiri dapat dilakukan dengan beberapa bentuk modifikasi seperti pada Gambar 3.3 yaitu penggunaan *common rail system* pada mesin diesel, *system common rail*

sendiri banyak diaplikasikan pada mobil-mobil generasi terbaru. Hal yang penting yang mutlak dimiliki oleh *system common rail* adalah harus menggunakan komponen utama seperti *solenoid injector valve*, *rail tank*, *ECU* dan *High pressure pump*. *Timing injection* dikontrol oleh ECU sementara suplai bahan bakar dipompakan dari *high pressure pump* menuju ke tangki *rail* dimana pada tangki rail ini bahan bakar menunggu untuk diinjeksikan oleh injektor. Dengan metode seperti ini maka diperlukan modifikasi yang besar dimana system kerja *bosh pump* pada mesin diesel standar akan diganti dengan pompa bertekanan tinggi serta injektor konvensional yang ada pada mesin harus diganti dengan injektor elektrik, disamping itu penggunaan ECU yang kompetibel juga harus mutlak terpenuhi serta peletakan sensor juga harus tepat guna menunjang kinerja dari ECU seperti pada Gambar 3.3 dibawah.

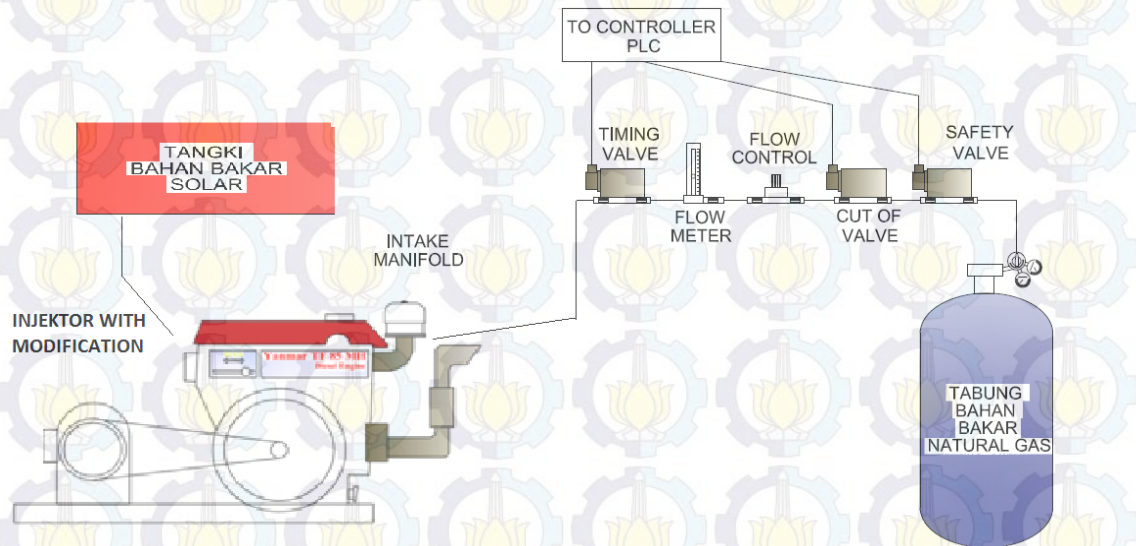


Gambar 3.3 Desain Instalasi injeksi Biosolar *Semi Common Rail*

3.5 Uji Eksperimen

Pengujian dilakukan dengan cara menghitung tingkat performa mesin Yanmar TF 85 MH. Untuk pengujian performa *dual fuel diesel engine* ini, massa antara *Natural Gas* dan Biosolar akan dikombinasikan sehingga mendapatkan nilai yang paling optimum dengan harga SFC yang rendah. Pada pengambilan data akan diambil pengaruh pemakaian kedua bahan bakar diatas terhadap daya yang dihasilkan mesin diesel, variabel performa mesin yang

akan dihitung adalah SFC, Daya dan Efisiensi Termal. Pada Gambar 3.4 terlihat rangkaian dari mesin dengan dua variabel injeksi bahan bakar yaitu injeksi CNG dan injeksi bahan bakar biosolar. Pembebanan mesin diesel sendiri dilakukan dengan mengkopel mesin diesel dengan dynamometer dan diberikan pembebanan untuk dapat menghitung beban *output* dari dynamometer.



Gambar 3.4 Skema Alat Pengujian

3.6 Pengambilan Data

Pengambilan data dilakukan saat uji eksperimen. Data yang diperoleh digunakan sebagai acuan untuk menganalisa performa mesin diesel *dual fuel* pada tiap variasi bahan bakar (Biosolar dan CNG) yang diujikan. Adapun data-data yang diambil saat uji eksperimen adalah sebagai berikut:

1. Putaran Mesin (Rpm)
2. Beban Mesin
3. Waktu Konsumsi Bahan Bakar Tiap 10mL

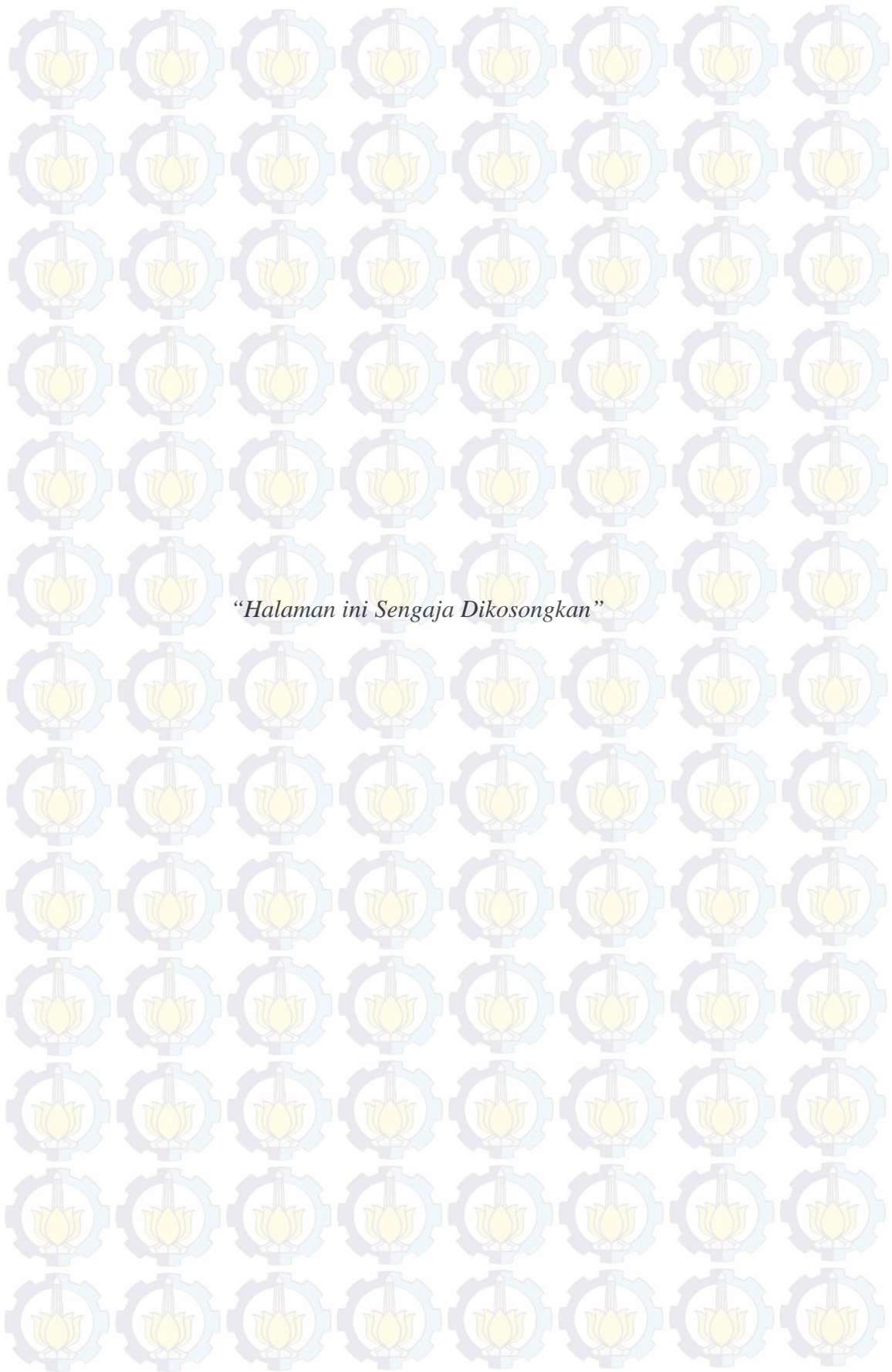
3.7 Analisis Data

Analisa data adalah Kegiatan mengubah data hasil penelitian menjadi informasi yang dapat digunakan untuk mengambil kesimpulan dalam suatu penelitian. Pada penelitian ini akan dilakukan analisa dengan berbekal data-data yang telah diperoleh dari hasil uji performa mesin yang meliputi tingkat

konsumsi bahan bakar (*Natural Gas* dan Biosolar), durasi waktu konsumsi bahan bakar, Putaran mesin tiap variasi pembebanan dan sebagainya, kesemua itu dilakukan untuk mendapatkan tingkat performa mesin berdasarkan variabel penginjeksian *Natural Gas* dan Biosolar.

3.8 Kesimpulan dan Saran

Kesimpulan penelitian adalah pernyataan singkat tentang hasil analisis deskripsi dan pembahasan tentang hasil pengetesan hipotesis dari rencana penelitian yang telah dilakukan. Kesimpulan berisi jawaban atas pertanyaan yang diajukan pada bagian rumusan masalah. Keseluruhan jawaban hanya terfokus pada ruang lingkup pertanyaan dan jumlah jawaban disesuaikan dengan jumlah rumusan masalah yang diajukan. Sedangkan Saran adalah suatu yang diberikan kepada pembaca yang didasarkan atas hasil temuan dalam studi yang telah dilakukan dan bukan berupa pendapat atau tinjauan idealis pribadi peneliti. Saran hanya berisi rekomendasi yang dirumuskan oleh peneliti namun bukan untuk menjawab permasalahan dalam pokok penelitian, saran dirumuskan berdasarkan penelusuran yang menurut penulis dapat bermanfaat secara praktis maupun bermanfaat bagi pengembangan ilmu pengetahuan berdasarkan kedekatan objek.



BAB 4

HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini menjelaskan mengenai hasil dan analisa karakteristik performa mesin diesel dengan menggunakan bahan bakar *dual fuel* berdasarkan variasi pencampuran bahan bakar *Natural gas* dengan Biosolar. Langkah pertama yang harus dilakukan yaitu melakukan modifikasi pada instalasi bahan bakar diesel mesin diesel dimana sistem yang selama ini adalah sistem standar dari mesin atau masih menggunakan cara yang konvensional akan tetap kita gunakan namun pemodifikasiannya dititik beratkan pada perubahan tekanan kerja injektornya, selanjutnya akan dilakukan pengujian jumlah kuantitas bahan bakar yang disemprotkan antara *spring* injektor satu dengan yang lainnya. Setelah itu, dilakukan pengujian mesin sehingga didapatkan data-data yang harus diolah lebih lanjut untuk mendapatkan analisa performa daripada mesin diesel *dual fuel* berdasarkan variasi kombinasi bahan bakar *Natural gas* dengan Biosolar data yang dihasilkan dalam bentuk besaran arus, tegangan, volume bahan bakar terpakai dan waktu konsumsi bahan bakar .

4.1 Modifikasi Sistem Injeksi Bahan Bakar *Fuel Oil*









Proses modifikasi system injeksi bahan bakar minyak pada mesin diesel dilakukan dengan cara pemasangan sim pada spring nozzle injektor atau biasa disebut dengan packing injektor, hal ini dimaksudkan untuk memudahkan proses pengontrolan daripada kuantitas pilot fuel sendiri sehingga penentuan dan pengaturan banyaknya massa alir semprotan Biosolar dari injektor dapat dilakukan mengingat dalam dual-fuel engine sendiri diperlukan semprotan idle tertentu dari solar untuk memantik campuran udara dan gas agar dapat membakar seluruh campuran itu pada beban penuh. Modifikasi seperti ini lebih menitik beratkan pada penambahan tekanan kerja pada nozzle injektor menjadi lebih besar dari tekanan kerja injektor standar yang ada sebelumnya.



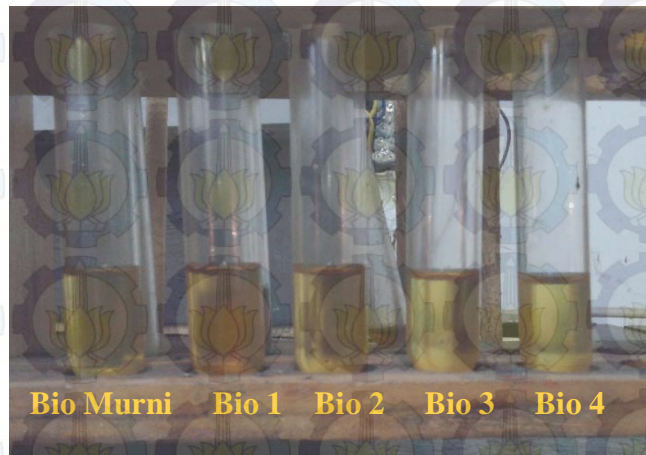
Gambar 4.1 *Spring* Injektor dengan Penambahan Sim

Injektor yang digunakan adalah injektor standar yang ada pada mesin diesel yanmar TF 85MH dimana dengan tekanan kerja injektor standar pada mesin adalah 200 bar sekali penginjeksian, proses modifikasi akan dilakukan dengan cara sistem bongkar pasang *spring* pada injektor yang digunakan, namun sebelumnya setiap *spring* akan kita uji tekanannya hingga mendapatkan tekanan yang berbeda dari tekanan spring standar.

Tabel 4.1 Perbandingan Kuantitas Semprotan tiap Injektor

No	Sampel Bahan Bakar	Modifikasi <i>Packing</i> Injektor	Kuantitas (ml)	Persentase Pengurangan BB	N Semprotan
1	Bio Murni	Standar	2,6	-	40 Kali
2	Bio 1	 + 	2,3	10%	
3	Bio 2	 + 	2	20%	
4	Bio 3	 + 	1,8	30%	
5	Bio 4	 + 	1,7	40%	

Adapun jumlah kuantitas bahan bakar yang diinjeksikan tiap sampel bahan bakar baik yang standar maupun yang telah dimodifikasi seperti terlihat pada gambar berikut:



Gambar 4.2 Jumlah Kuantitas Biosolar Hasil Modifikasi Injektor

Dari Tabel 4.1 dan Tabel 1 (Lampiran) tentang kuantitas volume bahan bakar Biosolar dan CNG, dapat kita ketahui besaran jumlah volume dari Biosolar yang harus kita injeksikan masuk keruang bakar tiap sampel sesuai dengan modifikasi *nozzle* injektor yang telah dilakukan, debit Biosolar yang diinjeksikan tidak sama setiap sampelnya, untuk sampel Bio Murni diasumsikan sama dengan menginjeksikan banyaknya Biosolar kedalam ruang bakar tanpa modifikasi atau penambahan sim, begitu pula untuk sampel Bio 1 hingga Bio 4 yang mewakili jumlah kuantitas dari Biosolar yang diinjeksikan setelah dilakukan modifikasi pada *spring nozzle*, semakin banyak sim yang dipasang maka kuantitas dari penginjeksian Biosolarnya juga semakin sedikit. Adapun untuk bahan bakar CNG sendiri juga telah diukur tingkatan volume gasnya tiap injeksi dengan acuan awal dari massa biosolar yang diinjeksikan, artinya bahwa dengan memasukkan sampel Biosolar murni makan CNG yang diinjeksikan adalah Nol mL, sementara dengan memasukkan sampel Bio 1 hingga Bio 4 sama dengan menginjeksikan CNG1 hingga CNG4 sesuai dengan tingkat kebutuhan bahan bakar Biosolar yang harus dilengkapi oleh CNG.

Adapun kombinasi dari kedua bahan bakar tersebut dapat kita asumsikan dimana untuk bahan bakar Bio1+CNG1 adalah DF CNG1, Bio2+CNG2 adalah DF CNG2, Bio3+CNG3 adalah DF CNG3 dan yang terakhir adalah sampel Biosolar Murni.

4.2 Data Pengujian Mesin

Pada Tabel 1, Tabel 2, Tabel 3 dan Tabel 4 pada lampiran akan disajikan data dari performa mesin yang didapatkan dari hasil pengujian mesin yang meliputi daya, torsi, SFC dan pada variasi beban 0, 1000, 2000, 3000, 4000 dan 5000 watt serta putaran 1500 Rpm, 1800 Rpm dan 2200 Rpm.

4.3 Analisis Performa Mesin

Berdasarkan pengujian yang telah dilakukan sebelumnya, maka akan dianalisis performa mesin secara visual dan prestasi mesin yang dihasilkan berdasarkan tiap kombinasi bahan bakar yang diujikan.

4.3.1 Analisis Visual (Pengamatan Langsung pada Mesin)

Sebaik apapun daya yang dihasilkan dan tren konsumsi bahan bakar yang terpakai menunjukkan level terendah tidak dapat dijadikan faktor penentu bahwa kombinasi pencampuran bahan bakar *dual fuel* tersebut berhasil atau cocok untuk diterapkan pada mesin, perlu dilakukan pembandingan dengan cara pengamatan secara visual terhadap mesin saat dilakukan percobaan sebagai parameter untuk penentuan layak atau tidak suatu eksperimen dilakukan yang dalam hal ini penggunaan kombinasi bahan bakar *Dual Fuel*, oleh karena itu analisis visual sangat tergantung dari kepekaan penginderaan pengamat .

Pada sampel bahan bakar Biosolar murni, kondisi mesin berjalan normal seperti biasa untuk ketiga sample Rpm yang dijadikan acuan, baik bunyi, getaran masih dalam bata ambang yang wajar, asap dari gas buang saat start awal terlihat pekat hitam.

Kemudian pada saat pengujian sampel bahan bakar DF CNG 1, Kondisi mesin tetap berjalan normal seperti biasa untuk ketiga sample Rpm yang diujikan, baik bunyi, getaran masih dalam batas ambang yang wajar walaupun semakin bertambah beban yang diberikan tapi masih dalam batas yang wajar, asap dari gas buang saat start awal juga terlihat pekat hitam tapi tidak sepekat penggunaan Biosolar Murni.

Pengujian sampel bahan bakar DF CNG 2, kondisi mesin tetap berjalan normal seperti biasa untuk ketiga sampel Rpm yang diujikan, baik bunyi, getaran

masih dalam bata ambang yang wajar walaupun semakin bertambah beban yang diberikan tapi masih dalam batas yang wajar namun terkadang terjadi letupan yang agak aneh yang ditimbulkan dari proses pembakaran, asap dari gas buang saat start awal juga terlihat pekat hitam tapi tidak sepekat penggunaan Biosolar Murni, baunya pun juga tidak sepekat dari penggunaan bahan bakar sebelumnya.

Pengujian sampel bahan bakar DF CNG 3, untuk Sampel bahan bakar DF CNG 3 mesin masih beroperasi, *knock* pada mesin mulai terjadi pada pembebanan 0 hingga pembebanan 1000 watt khususnya di Rpm 1500, intensitas *knock* terjadi sebanyak 4 sampai 7 kali, namun saat putaran mesin dinaikkan menjadi 1800 dan 2200, *knock* mesin sudah tidak ada, suara pembakaran dari mesin kembali membaik, air pendingin mesin menjadi panas padahal sebelum dilakukan pengujian untuk sampel ini dilakukan penambahan air pendingin, untuk gas buang tidak pekat seperti kombinasi bahan bakar sebelumnya, bau gas buang juga terasa lain dari biasanya.

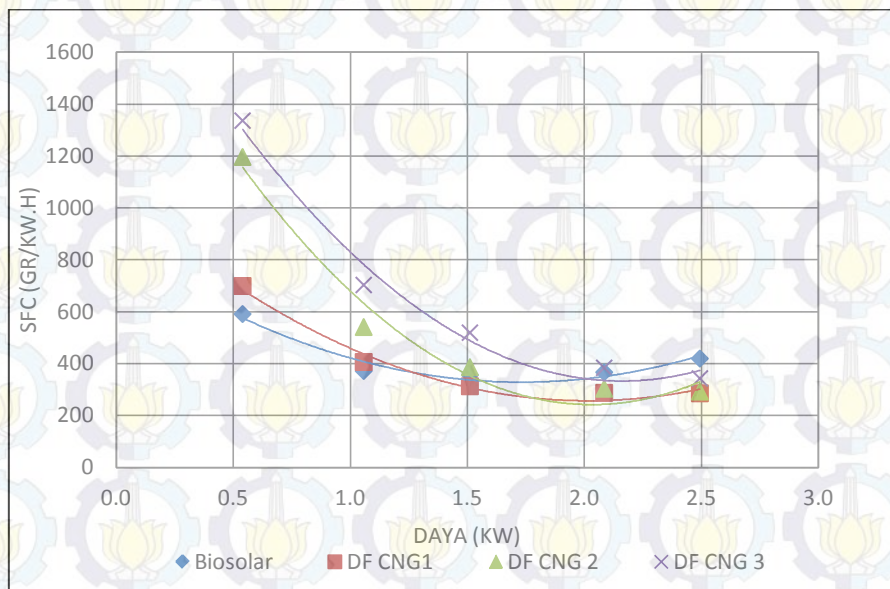
4.3.2 Analisis Kinerja Mesin

Pengujian unjuk kerja pada motor diesel ini bertujuan untuk mengetahui kinerja dari motor diesel dengan melihat daya, SFC (*Specific Fuel Consumption*) dan Efisiensi Termal Mesin. Pada Tabel 1, 2, 3, dan 4 (Lampiran: Data Performa Mesin) disajikan hasil perhitungan performa mesin. Dari data tersebut akan disajikan dalam bentuk grafik SFC vs Daya, Efisiensi Termal vs Daya masing-masing pada putaran 1500, 1800 dan 2200 Rpm.

4.3.2.1 Hubungan Konsumsi Bahan Bakar (SFC) Terhadap Perubahan Daya

Parameter prestasi motor bakar yang memperlihatkan perbandingan antara konsumsi bahan bakar dengan beban yang dihasilkan tiap satuan waktu adalah konsumsi bahan bakar spesifik (*Specific Fuel Consumption*). Pada Gambar 4.1 akan disajikan grafik SFC vs daya untuk putaran 1500 Rpm. Dari grafik tersebut dapat dilihat bahwa pemakaian Bahan Bakar Kombinasi DF CNG3 memberikan tingkat penghematan konsumsi biosolar yang lebih baik jika dibandingkan dengan penggunaan Biosolar bahan bakar lainnya.

Pada Gambar 4.3 menunjukkan bahwa sampel Bahan bakar Biosolar murni untuk putaran 1500 Rpm di beban maksimum 5000 watt, menghasilkan SFC sebanyak 419 gr/kW.h. kemudian Bahan Bakar Kombinasi DF CNG3 menghasilkan SFC sebanyak 342 gr/kW.h kemudian berturut-turut komposisi bahan bakar DF CNG2 dengan SFC sebesar 291 gr/kW.h, DF CNG1 sebesar 285 gr/kW.h. namun pada beban awal mulai dari 0 hingga beban 3000 watt, bahan bakar biosolar murni memberikan tingkat penghematan konsumsi yang lebih hemat dibandingkan dengan sampel bahan bakar kombinasi CNG, namun jika ditinjau dari kuantitas biosolar secara keseluruhan dengan semakin banyaknya CNG yang diinjeksikan maka semakin berkurang jumlah biosolar yang diinjeksikan, hal ini mengindikasikan bahwa bahan bakar CNG mereduksi bahan Biosolarnya. konsumsi Biosolar murni jika dibandingkan dengan pemakaian biosolar pada DF CNG1 mengalami penurunan konsumsi sebesar 50%, sementara jika dibandingkan dengan pemakaian bahan bakar pada sampel DF CNG2, tingkat penurunannya menjadi semakin besar yaitu 63%, dan untuk sampel DF CNG3 menjadi 68%.

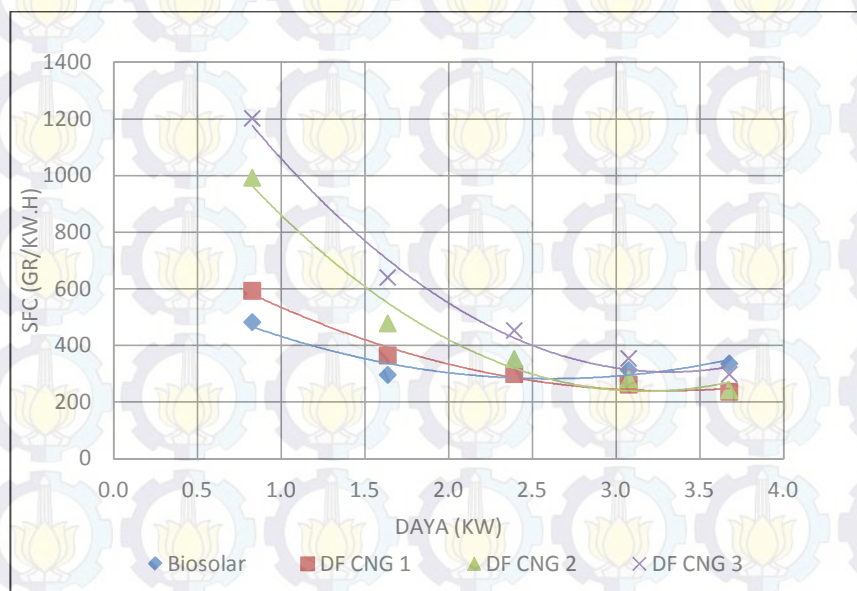


Gambar 4.3 Grafik SFC Terhadap Perubahan Daya pada Putaran 1500 rpm

Pada Gambar 4.4 untuk putaran 1800 Rpm, Grafik SFC vs daya untuk Bahan biosolar murni menghasilkan SFC sebesar 335 gr/kW.h, kemudian Bakar Kombinasi DF CNG 3 menghasilkan SFC terendah yaitu 297 gr/kW.h pada beban

5000 Watt kemudian juga berturut-turut komposisi bahan bakar DF CNG 2 dengan SFC sebesar 241 gr/kW.h, DF CNG 1 sebesar 236 gr/kW.h. secara keseluruhan dengan semakin banyaknya CNG yang diinjeksikan maka semakin berkurang jumlah biosolar yang diinjeksikan. Tingkat konsumsi Biosolar murni jika dibandingkan dengan pemakaian biosolar pada DF CNG1 mengalami penurunan konsumsi sebesar 53%, sementara jika dibandingkan dengan pemakaian bahan bakar pada sampel DF CNG2, tingkat penurunannya menjadi semakin besar yaitu 70%, dan untuk sampel DF CNG3 menjadi 73%.

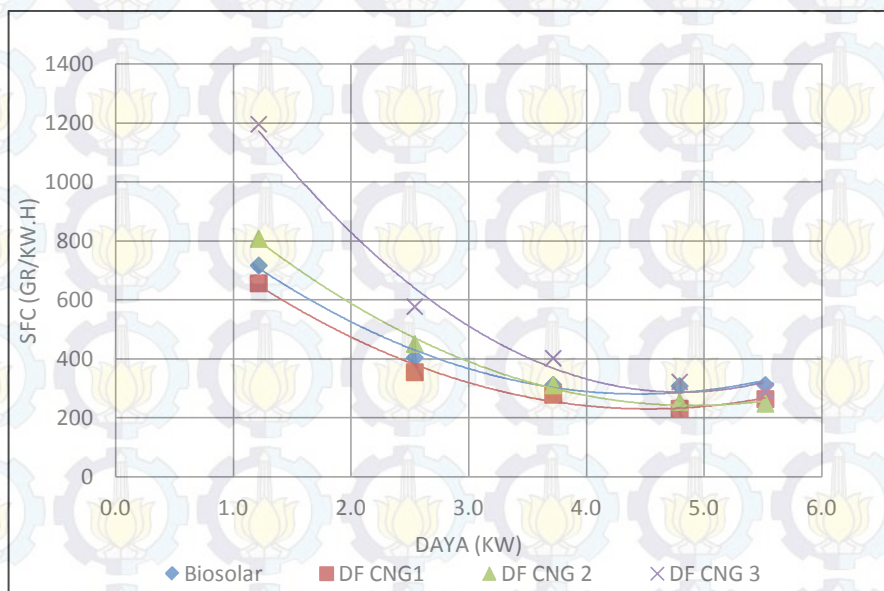
Besarnya daya dari mesin sangat dipengaruhi oleh besarnya putaran mesin dan torsi serta jumlah pembebanan yang diberikan pada mesin, pada grafik SFC vs Daya untuk putaran 1500 Rpm secara keseluruhan tingkat konsumsi bahan bakar relatif lebih tinggi saat daya mesin berada di level terkecil, namun seiring dengan semakin besarnya daya hingga mencapai kondisi *idle* mesin membuat SFC yang dihasilkan semakin berkurang, kemudian SFC kembali menunjukkan tren lebih tinggi saat mesin mencapai daya dikisaran 3,5 kW untuk semua sampel bahan bakar.



Gambar 4.4 Grafik SFC Terhadap Perubahan Daya pada Putaran 1800 rpm

Pada Gambar 4.5 diputaran maksimum 2200 Rpm, untuk Bahan biosolar murni menghasilkan SFC sebesar 311 gr/kW.h, kemudian Bahan Bakar Kombinasi DF CNG 3 menghasilkan SFC terendah yaitu 292 gr/kW.h pada beban

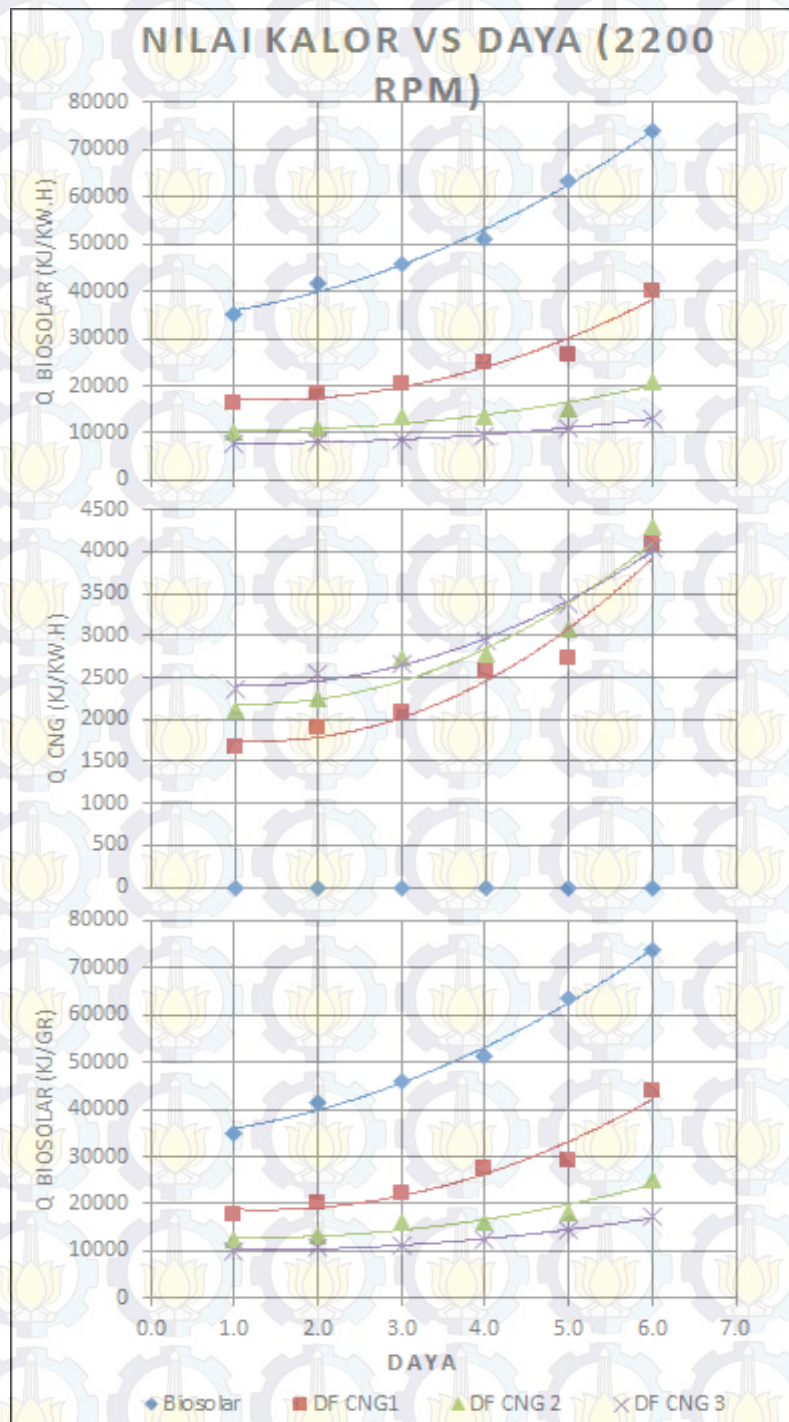
5000 Watt kemudian juga berturut-turut komposisi bahan bakar DF CNG 2 dengan SFC sebesar 248 gr/kW.h, DF CNG 1 sebesar 263 gr/kW.h. sama halnya dengan kondisi mesin diputaran 1500 dan 1800 Rpm, semakin banyak CNG yang diinjeksikan maka semakin banyak pula biosolar yang direduksikan oleh bahan bakar CNG tersebut. konsumsi Biosolar murni jika dibandingkan dengan pemakaian biosolar pada DF CNG1 mengalami penurunan konsumsi sebesar 39%, sementara jika dibandingkan dengan pemakaian bahan bakar pada sampel DF CNG2, tingkat penurunannya menjadi semakin besar yaitu 64%, dan untuk sampel DF CNG3 menjadi 74%.



Gambar 4.5 Grafik SFC Terhadap Perubahan Daya pada Putaran 2200 rpm

Dari data yang diperoleh diatas dapat ditarik kesimpulan bahwa pemakaian SFC yang rendah/kecil menunjukkan efisiensi yang tinggi. Besarnya SFC pada sampel bahan bakar DF CNG 1 hingga DF CNG 3 tak lain karna adanya penambahan sejumlah bahan bakar CNG kedalam ruang bakar mesin , hal ini memberikan peranan penting dalam menurunkan konsumsi Biosolar, modifikasi pada *nozzle* injektor juga sangat berpengaruh terhadap konsumsi biosolar. Pada sampel bahan bakar DF CNG 1 hingga DF CNG 3, terlihat bahwa sampel bahan bakar DF CNG 3 memberikan jumlah konsumsi Biosolar yang jauh lebih sedikit jika dibandingkan dengan konsumsi bahan bakar pada sampel bahan bakar yang lainnya baik pada putaran 1500 Rpm.

Untuk sampel bahan bakar *mode Diesel* dan *mode dual fuel* terdapat perbedaan variasi konsumsi bahan bakar mengingat bahan bakar jika ditinjau dari nilai kalori dari masing-masing bahan bakar. Pada Gambar 4.6 terdapat perbandingan antara nilai kalor (Q) Biosolar dan CNG untuk semua sampel bahan bakar diputar mesin 2200 Rpm.



Gambar 4.6 Grafik Nilai Kalor (Q) vs Daya pada Rpm 2200

Dari Gambar 4.6 dapat terlihat perbedaan nilai kalor untuk konsumsi bahan bakar Biosolar murni baik pada mode *Dual Fuel* maupun *single fuel*. Dengan mengambil sampel untuk putaran 2200 Rpm dan divariasi pembebanan maksimum, Nilai kalor Biosolar murni mode *single fuel* sebesar 73950 KJ/Kw.h, sementara Nilai kalor Biosolar murni untuk *Dual Fuel Mode* berturut-turut mulai dari sampel bahan bakar DF CNG1 hingga DF CNG3 adalah 39933 KJ/Kw.h, 20880 KJ/Kw.h dan 13124 KJ/Kw.h.

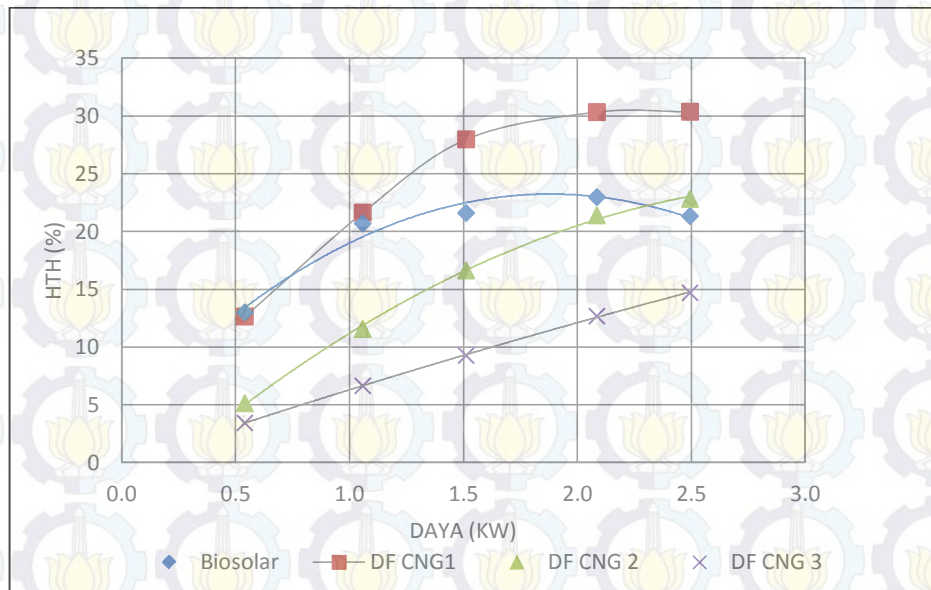
Nilai kalor bahan bakar CNG diberikan Pada sampel bahan bakar DF CNG 1 hingga DF CNG 3 untuk kondisi beban maksimum putaran mesin 2200 Rpm adalah DF CNG 1 sebesar 4099 KJ/Kw.h, DF CNG 2 sebesar 4287 KJ/Kw.h dan DF CNG 3 sebesar 4042 KJ/Kw.h. sehingga total nilai kalor yang dihasilkan oleh keempat sampel bahan bakar pada Grafik Gambar 4.4 untuk Biosolar murni sebesar 73950 KJ/Kw.h, DF CNG 1 sebesar 44033 KJ/Kw.h, DF CNG 2 sebesar 25167 KJ/Kw.h dan DF CNG 3 sebesar 17165 KJ/Kw.h.

Dari tren grafik tersebut dapat dijelaskan bahwa semakin meningkatnya daya yang dihasilkan engine membuat jumlah bahan bakar CNG yang masuk ke ruang bakar akan semakin meningkat pula. namun dengan penambahan CNG justru membuat energi yang dihasilkan oleh bahan bakar *Dual Fuel* juga semakin kecil, pada grafik Gambar 4.4 diatas terlihat bahwa nilai kalor terbesar dihasilkan oleh bahan bakar Biosolar murni, kemudian berturut-turut bahan bakar DF CNG1, DF CNG2 dan DF CNG 3. Dengan semakin banyaknya jumlah bahan bakar, maka energi atau kalor yang dapat dikonversi menjadi kerja akan semakin besar. Banyaknya pengurangan Biosolar pada *mode dual fuel* juga membuat energy yang dihasilkan oleh bahan bakar semakin kecil, sehingga peran serta CNG untuk mereduksi kekurangan bahan bakar biosolarnya semakin nyata.

4.3.3.5 Hubungan Efisiensi Termal Terhadap Perubahan Daya

Parameter prestasi motor bakar dilihat dari besarnya efisiensi termal yang dihasilkan juga merupakan salah satu bentuk tolak ukur dalam menentukan tingkat kualitas mesin dari bahan bakar yang digunakannya. Pada Gambar 4.7 untuk putaran 1500 Rpm, tampak bahwa sampel Bahan Bakar DF CNG1 menghasilkan efisiensi termal sebesar 30,37 η_{th} (%), kemudian berturut-turut

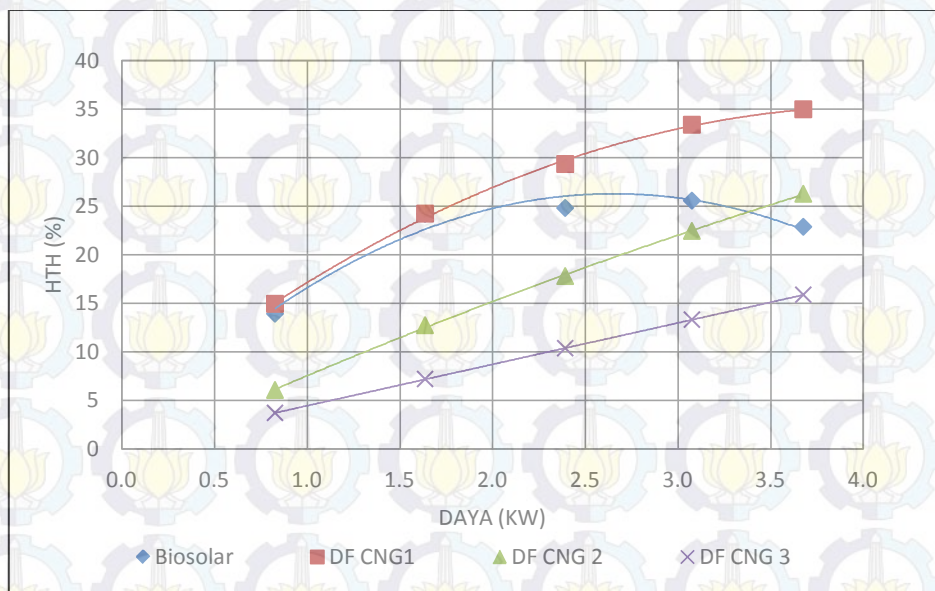
komposisi bahan bakar DF CNG2 dengan Efisiensi Termal sebesar 22,83 η_{th} (%), kemudian DF CNG3 sebesar 14,70 η_{th} (%) dan terakhir yaitu Biosolar murni dengan Efisiensi Termal sebesar 21,34 η_{th} (%).



Gambar 4.7 Grafik Efisiensi Termal Terhadap Daya pada Putaran 1500 Rpm

Pada Gambar 4.8 untuk putaran 1800 Rpm, tampak bahwa sampel Bahan Bakar DF CNG1 menghasilkan efisiensi termal sebesar 34,99 η_{th} (%), kemudian berturut-turut komposisi bahan bakar DF CNG2 dengan Efisiensi Termal sebesar 26,29 η_{th} (%), kemudian DF CNG3 sebesar 15,89 η_{th} (%) dan terakhir yaitu Biosolar murni dengan Efisiensi Termal sebesar 22,89 η_{th} (%).

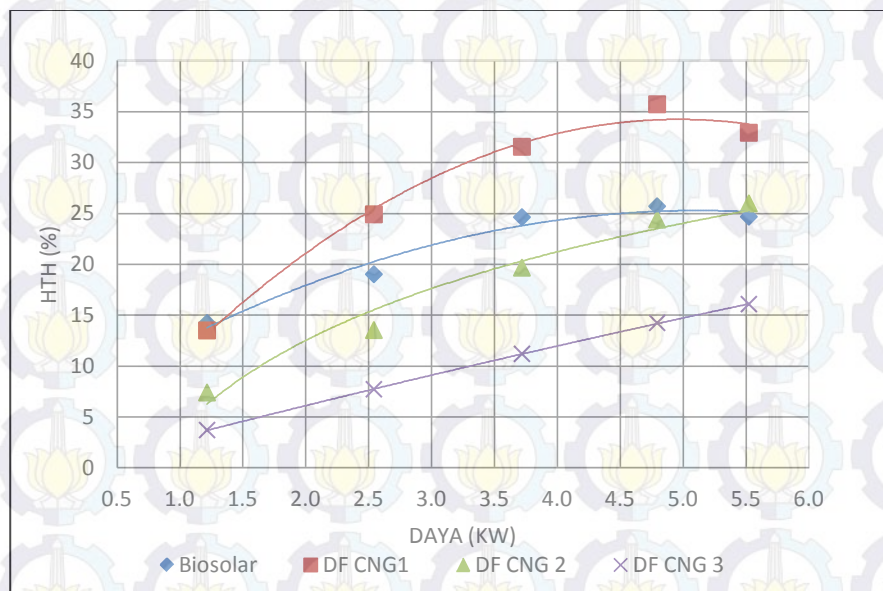
Efisiensi termal mesin sangat dipengaruhi oleh besarnya putaran mesin dan daya yang dihasilkan, semakin besar daya yang dihasilkan oleh mesin maka efisiensi yang dihasilkan juga semakin meningkat, pada grafik efisiensi termal vs Daya untuk putaran 1800 Rpm secara keseluruhan tingkat efisiensi termal mesin relatif lebih tinggi saat daya mesin berada dilevel terendah, namun seiring dengan semakin besarnya daya juga membuat efisiensi termal yang dihasilkan semakin meningkat untuk semua sampel bahan bakar.



Gambar 4.8 Grafik Efisiensi Termal Terhadap Daya pada Putaran 1800 Rpm

Pada Gambar 4.9 untuk putaran 2200 Rpm, tampak bahwa sampel Bahan Bakar DF CNG1 menghasilkan efisiensi termal sebesar 32,91 η_{th} (%), kemudian berturut-turut komposisi bahan bakar DF CNG2 dengan Efisiensi Termal sebesar 25,97 η_{th} (%), kemudian DF CNG3 sebesar 16,07 η_{th} (%) dan terakhir yaitu Biosolar murni dengan Efisiensi Termal sebesar 24,67 η_{th} (%).

terdapat korelasi antara SFC dengan nilai efisiensi termal yang dihasilkan dimana saat sfc turun maka nilai efisiensi termal justru mengalami kenaikan, hal ini menggambarkan bahwa dengan naiknya efisiensi termal maka semakin banyak bahan bakar yang dapat dikonversi selama proses pembakaran menjadi daya yang dikeluarkan melalui poros mesin. Saat nilai SFC naik kembali maka nilai efisiensi termal turun yang mengindikasikan semakin banyak bahan bakar yang terbuang bersama gas sisa pembakaran karena tidak dapat dikonversi menjadi daya mesin pada saat proses pembakaran berlangsung di ruang bakar.



Gambar 4.9 Grafik Efisiensi Termal Terhadap Daya pada Putaran 2200 Rpm

Dari grafik efisiensi termal terhadap daya pada ketiga putaran diatas menunjukkan adanya peningkatan efisiensi khususnya sampel bahan bakar kombinasi (DF CNG 1), kombinasi DF CNG 1 memberikan angka efisiensi yang lebih tinggi dibandingkan dengan sampel bahan bakar yang lain, hal ini disebabkan komposisi ideal antara udara dan CNG pada sampel bahan bakar DF CNG 1 lebih ideal dibandingkan dengan sampel bahan bakar yang lainnya, dengan angka *Flammability limits* (volume % CNG terhadap udara) adalah 4,3 – 15 %, sehingga dengan menambahkan rasio CNG yang melebihi komposisi udara didalam ruang bakar membuat proses pembakaran juga semakin tidak sempurna sehingga menyebabkan adanya bahan bakar yang belum terbakar sempurna, hal ini menyebabkan nilai efisiensi termal mesin pun juga menurun. Walaupun pada kenyataannya proses pencampuran CNG dengan udara relatif lebih mudah karena fasenya yang sama yaitu gas.

Faktor lain yang menyebabkan turunnya efisiensi termal untuk sampel DF CNG 2 dan DF CNG 3 adalah dengan terlalu banyaknya pengurangan kuantitas Biosolar yang diinjeksikan membuat proses pembakaran tidak berjalan maksimal mengingat *Temperature Ignation* dari CNG sendiri sangat tinggi sehingga Biosolar sangat berperan penting digunakan sebagai *pilot fuel* untuk membakar

CNG. Adanya keseimbangan komposisi antara massa udara, Biosolar dan CNG yang masuk dapat menghasilkan performa mesin yang baik.

4.4 Pengaruh Penambahan CNG Pada Konsumsi Bahan Bakar Motor Diesel

Dengan banyak ditamhakkannya CNG, maka jumlah bahan bakar biosolar yang diinjeksikan semakin sedikit. pengurangan bahan bakar dilakukan dengan cara memasang sim di dalam *nozzle* sehingga dapat mengurangi debit biosolar yang diinjeksikan, analisa yang didapatkan peneliti ada pada tabel 9 dan tabel 10 (Lampiran) Data pada tabel tersebut menjelaskan banyaknya jumlah bahan bakar per injeksi. Pada tabel kolom bahan bakar biosolar murni dapat diambil data pada Rpm 1500 dengan beban 5000 watt, dengan bahan bakar biosolar jumlah perinjeksinya 0,025 ml, sedangkan untuk sampel DF CNG1 jumlah biosolar perinjeksinya 0,0127 ml, kombinasi bahan bakar dengan penambahan DF CNG2 jumlah biosolar perinjeksinya dibeban yang sama yaitu 0,0094 ml, dan kombinasi bahan bakar dengan penambahan DF CNG3 tetap dibeban yang sama adalah 0.008 ml. Data selanjutnya dapat dilihat pada tabel 6 (Lampiran: Data kuantitas *fuel* per injeksi).

Untuk pengaturan bahan bakar CNG yang masuk ke motor diesel, dapat diatur dengan *flow meter*. Tetapi ada batasan dimana sampel DF CNG yang masuk hanya bisa hanya sampai pada DF CNG3, hal ini dikarenakan terjadinyabunyi dan getaran yang tidak beraturan pada mesin serta indikasi air pendingin mesin yang begitu panas sehingga pada sampel DF CNG4 dan seterusnya tidak dapat dilakukan. Pada tabel perbandingan konsumsi CNG untuk putaran mesin 1500 Rpm pada beban maksimum 5000 watt sampel DF CNG1 adalah 0.00127 ml, sampel DF CNG2 sebesar 0.00094 ml dan Sampel DF CNG3 sebesar 0.00080 ml. Data selanjutnya dapat dilihat pada tabel 7 (Lampiran: Data kuantitas *fuel* per injeksi).

Semakin banyaknya beban yang diberikan pada mesin maka konsumsi bahan bakar Biosolarnya juga semakin bertambah namun untuk untuk CNG sendiri tetap pada konsumsi yang sama dikarenakan pengaturan debit CNG yang masuk tetap dikontrol oleh *flow meter*, jumlah sampel maksimum bahan bakar

kombinasi yang dapat disuplai ada empat dikarenakan kondisi mesin hasil pengamatan secara visual memberikan indikasi yang tidak baik dan cenderung akan memberikan dampak yang merusak pada mesin jika volume CNG semakin ditingkatkan. Namun untuk sample kombinasi bahan bakar DF CNG 1 dan DF CNG 2 menghasilkan performa mesin yang cukup baik hampir sama dengan pemakaian Biosolar murni

4.4.1 Rasio perbandingan harga antara *Diesel Mode* dengan *Gas Mode*

Secara teoritis penggunaan bahan bakar ganda *Diesel oil* dengan *Natural Gas* dapat memberikan berbagi keuntungan pada si pengguna antara lain tingkat emisi gas yang ditimbulkan relatif lebih bersih daripada penggunaan *Diesel Oil* standar, juga tingkat penghematan biaya yang dikeluarkan relatif lebih murah jika menggunakan sistem *Dual Fuel* dibandingkan dengan penggunaan *Diesel Oil*. Hal ini didasarkan bahwa harga patokan gas yang relatif lebih murah jika dibandingkan dengan bahan bakar diesel.

Realisasi biaya operasional mesin dengan mode *Diesel Oil* dan Gas dari segi kebutuhan bahan bakar dapat ditentukan dengan cara membandingkan jumlah konsumsi bahan bakar pada mode *Diesel Oil* dengan jumlah konsumsi bahan bakar pada mode gas dengan patokan harga untuk *Diesel Oil* (Biosolar Rp 11000/Liter Non Subsidi) dengan *Natural Gas* (CNG USD 20/MMBTU Non Subsidi). Langkah awal dalam perhitungan adalah mencari nilai FC dari Biosolar yaitu sama dengan mengalikan antara SFC (kg/kW.h) dengan daya (kW) dan waktu (jam) selanjutnya hasil nilai dari FC dikalikan dengan harga jual Biosolar per Liternya seperti pada Tabel 4.2

Tabel 4.2 Tabel Besaran Harga Konsumsi Bahan Bakar Biosolar per Jam

No	Sampel Bahan Bakar	Beban	Harga Bahan Bakar per Putaran Mesin (Rpm) per Jam Pada Mode Diesel (Rupiah)								
			1500			1800			2200		
			FC Diesel	Harga	Total	FC Diesel	Harga	Total	FC Diesel	Harga	Total
1	Biosolar	1	0.306	3366	3400	0.405	4458	4500	0.937	10308	10400
2		2	0.405	4458	4500	0.484	5320	5400	1.034	11374	11400
3		3	0.566	6224	6300	0.731	8046	8100	1.153	12687	12700
4		4	0.731	8046	8100	0.937	10308	10400	1.428	15708	15800
5		5	0.937	10308	10400	1.153	12687	12700	1.666	18326	18400

Besaran harga konsumsi bahan bakar Biosolar dan Gas dalam mode Gas dapat diketahui dengan cara mengalikan FC dari Biosolar dengan Harga Jual Biosolar kemudian ditambahkan dengan Harga CNG ($FC \text{ CNG} \times \text{Harga CNG}$). Adapun untuk menentukan nilai dari FC CNG adalah SFC CNG dikalikan dengan massa jenis CNG kemudian dikalikan dengan daya mesin kemudian dikalikan dengan waktu. Untuk hasil perhitungan besaran harga bahan bakar Biosolar dan Gas dalam mode Gas tampak seperti pada Tabel 4.3 untuk sampel bahan bakar DF CNG1, Tabel 4.4 untuk sampel bahan bakar DF CNG2 dan Tabel 4.5 untuk sampel bahan bakar DF CNG3

Tabel 4.3 Tabel Besaran Harga Konsumsi Bahan Bakar DF CNG 1 per Jam

No	Sampel Bahan Bakar	Beban	Harga Bahan Bakar per Putaran Mesin (Rpm) per Jam Pada Mode Gas (Rupiah)								
			1500			1800			2200		
			Diesel	Gas	Total	Diesel	Gas	Total	Diesel	Gas	Total
1	DF CNG1	1	2499	0.0097	2499	3266	0.0154	3266	4923	0.0288	4923
2		2	3026	0.0118	3026	3586	0.0169	3586	5320	0.0311	5320
3		3	3625	0.0141	3625	4646	0.0219	4646	6468	0.0379	6468
4		4	4340	0.0169	4340	5408	0.0255	5408	6597	0.0386	6597
5		5	5236	0.0203	5236	5408	0.0255	5408	10996	0.0644	10996

Tabel 4.4 Tabel Besaran Harga Konsumsi Bahan Bakar DF CNG 2 per Jam

No	Sampel Bahan Bakar	Beban	Harga Bahan Bakar per Putaran Mesin (Rpm) per Jam Pada Mode Gas (Rupiah)								
			1500			1800			2200		
			Diesel	Gas	Total	Diesel	Gas	Total	Diesel	Gas	Total
1	DF CNG2	1	2101	0.0173	2101	2537	0.0173	2537	3586	0.0455	3586
2		2	2408	0.0198	2408	2749	0.0198	2749	4123	0.0523	4123
3		3	2945	0.0242	2945	3547	0.0242	3547	4176	0.0530	4176
4		4	3172	0.0261	3172	3706	0.0261	3706	4646	0.0589	4646
5		5	3881	0.0319	3881	3706	0.0319	3706	6468	0.0820	6468

Tabel 4.5 Tabel Besaran Harga Konsumsi Bahan Bakar DF CNG 3 per Jam

No	Sampel Bahan Bakar	Beban	Harga Bahan Bakar per Putaran Mesin (Rpm) per Jam Pada Mode Gas (Rupiah)								
			1500			1800			2200		
			Diesel	Gas	Total	Diesel	Gas	Total	Diesel	Gas	Total
1	DF CNG3	1	1853	0.0164	1853	2170	0.0198	2170	2919	0.0276	2919
2		2	2088	0.0184	2088	2749	0.0250	2749	3054	0.0289	3054
3		3	2537	0.0224	2537	3142	0.0286	3142	3366	0.0319	3366
4		4	2704	0.0239	2704	3203	0.0291	3203	3881	0.0368	3881
5		5	3299	0.0291	3299	3266	0.0297	3266	4646	0.0440	4646

4.4.2 Prosentase Penghematan Harga Bahan Bakar dengan Menggunakan *Gas Mode*

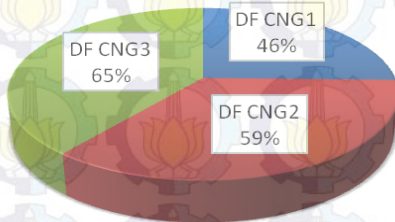
Prosentase penghematan harga konsumsi bahan bakar juga dapat dilihat pada Tabel 6 (Lampiran: Data kuantitas *fuel* per injeksi) dimana harga konsumsi bahan bakar Biosolar murni per jam dijadikan acuan pembanding terhadap konsumsi Biosolar kombinasi dengan CNG. Untuk sampel bahan bakar DF CNG1, DF CNG2 dan DF CNG3 padaputaran mesin putaran 1500 Rpm, harga konsumsi bahan bakar secara keseluruhan jika dibandingkan dengan pemakaian Biosolar murni jauh mengalami penghematan dengan mode Gas yaitu sebesar Rp 5250, jika dibandingkan dengan harga bahan bakar dengan mode *Diesel Fuel* mengalami penghematan sebesar 46% yaitu dengan nominal harga Rp 10400. Untuk DF CNG 2 dibeban maksimum, mode gas menghabiskan biaya bahan bakar sebesar Rp 3900 dan jika dibandingkan dengan mode diesel mengalami penghematan sebesar 59%, kemudian DF CNG 3 juga mengalami penghematan sebesar 65% dengan mode gas jika dibandingkan dengan mode diesel dengan nominal harga sebesar Rp 3300.

Adapun untuk putaran 1800 Rpm DF CNG1. Bandingkan dengan harga bahan bakar Diesel sebesar Rp 12700, untuk penghematan konsumsi bahan bakar pada DF CNG1 jika dibandingkan dengan penggunaan Biosolar murni berkisar 54% atau dengan nominal harga sebesar Rp 5400. Untuk DF CNG2 dibeban maksimum, mode gas menghabiskan biaya bahan bakar sebesar Rp 3700 dan jika dibandingkan dengan mode diesel mengalami penghematan sebesar 67%, kemudian DF CNG3 juga mengalami penghematan sebesar 71% dengan mode gas jika dibandingkan dengan mode diesel dengan nominal harga sebesar Rp 3300.

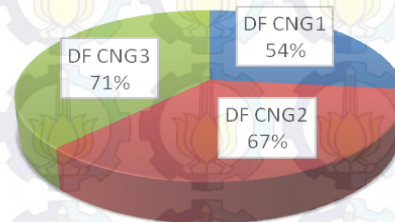
Untuk putaran 2200 Rpm DF CNG1 dengan total harga bahan bakar Diesel yang dikonsumsi sebesar Rp 18400, untuk penghematan konsumsi bahan bakar pada DF CNG1 jika dibandingkan dengan penggunaan Biosolar murni berkisar 40% atau dengan nominal harga sebesar Rp 11000. Untuk DF CNG2 dibeban maksimum, mode gas menghabiskan biaya bahan bakar sebesar Rp 6500 dan jika dibandingkan dengan mode diesel mengalami penghematan sebesar 40%, kemudian DF CNG 3 juga mengalami penghematan sebesar 73% dengan mode

gas jika dibandingkan dengan mode diesel dengan nominal harga sebesar Rp 4700.

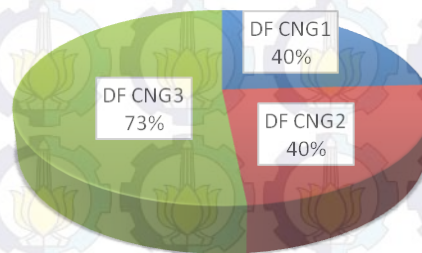
Prosentase Perbandingan Harga Bahan Bakar Pada Putaran 1500 Rpm / Beban Maksimum



Prosentase Perbandingan Harga Bahan Bakar Pada Putaran 1800 Rpm / Beban Maksimum



Prosentase Perbandingan Harga Bahan Bakar Pada Putaran 2200 Rpm / Beban Maksimum



Gambar 4.10 Persentase Perbandingan Harga Bahan Bakar Tiap Putaran

Penambahan bahan bakar gas CNG memberikan efek yang cukup baik terhadap konsumsi bahan minyak, apalagi dipadukan dengan pemasangan sim pada *nozzle* injektor sehingga penghematan bahan bakar Biosolar semakin baik khususnya pada kombinasi bahan bakar DF CNG3 yang memiliki tingkat penghematan yang tinggi dengan parameter waktu konsumsi untuk menghabiskan volume bahan bakar *Fuel* yang sama jauh lebih banyak jika dibandingkan dengan kombinasi bahan bakar yang lain dan Biosolar itu sendiri. modifikasi mesin ke moda *Dual fuel* memberikan penghematan harga konsumsi bahan bakar pada mesin standar.

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

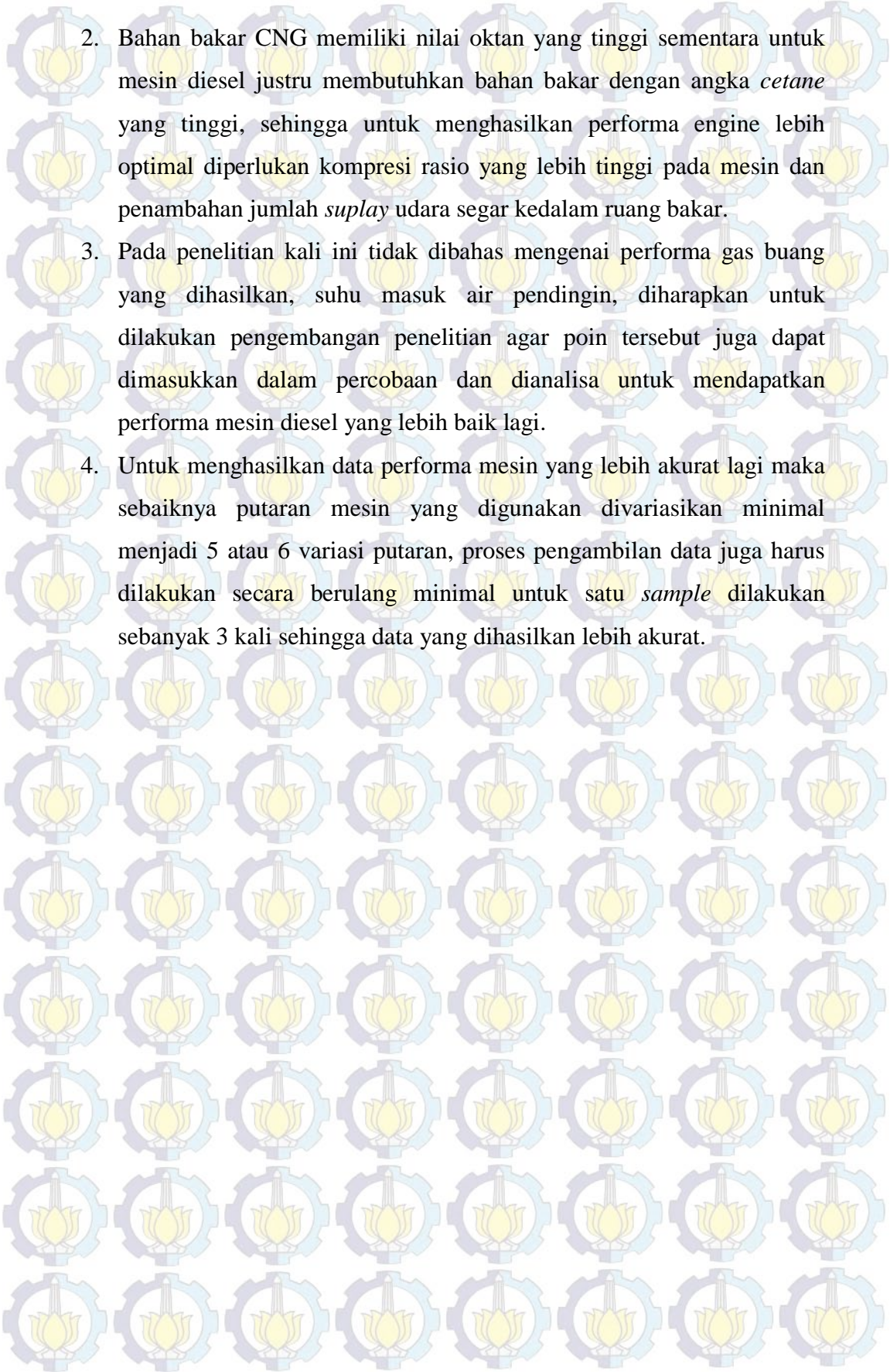
5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisa dan pembahasan sebelumnya, maka dapat diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. Rancangan mekanisme injeksi bahan bakar *Fuel Oil* dalam bentuk sistem *Dual Fuel Diesel Engine* pada mesin Diesel Yanmar TF 5 MH dapat dilakukan dengan modifikasi *spring nozzle* dimana penambahan sim pada *spring nozzle* membuat suplay bahan bakar injeksi juga semakin berkurang dari 0,065 ml tiap injeksi turun menjadi 0,045 ml.
2. Hasil analisa menunjukkan tingkat performa mesin yang dihasilkan oleh sampel DF CNG1 lebih baik daripada kombinasi bahan bakar yang lain. Walaupun daya yang dihasilkan sampel bahan bakar DF CNG1 lebih kecil dibandingkan sampel bahan bakar DF CNG2 yaitu sebesar 5,301 kW, serta nilai kalor yang lebih kecil jika dibandingkan dengan penggunaan bahan bakar Biosolar murni, namun dari tingkat sfc dan efisiensi termal yang dihasilkan sampel bahan bakar DF CNG1 lebih baik dari sampel bahan bakar lainnya, DF CNG1 menghasilkan SFC sebesar 263 gr/kWh serta Efisiensi Termal sebesar 32,91 η_{th} (%) pada putaran 2200 Rpm serta beban maksimum, secara keseluruhan penambahan CNG pada mesin *dual fuel* dapat mereduksi kebutuhan Biosolar sebanyak 39% hingga 74%.

5.2 Saran

1. Perlu dikaji mendalam yaitu penggunaan *system common rail* berupa pergantian injektor *fuel* standar *common rail*, pemasangan *high pressure pump*, pemasangan tangki *rail* dan penggunaan ECU untuk diujikan pada *system* injeksi *fuel oil* sehingga dapat dioperasikan secara otomatis seperti pada instalasi injeksi gas.

- 
2. Bahan bakar CNG memiliki nilai oktan yang tinggi sementara untuk mesin diesel justru membutuhkan bahan bakar dengan angka *cetane* yang tinggi, sehingga untuk menghasilkan performa engine lebih optimal diperlukan kompresi rasio yang lebih tinggi pada mesin dan penambahan jumlah *suplay* udara segar kedalam ruang bakar.
 3. Pada penelitian kali ini tidak dibahas mengenai performa gas buang yang dihasilkan, suhu masuk air pendingin, diharapkan untuk dilakukan pengembangan penelitian agar poin tersebut juga dapat dimasukkan dalam percobaan dan dianalisa untuk mendapatkan performa mesin diesel yang lebih baik lagi.
 4. Untuk menghasilkan data performa mesin yang lebih akurat lagi maka sebaiknya putaran mesin yang digunakan divariasikan minimal menjadi 5 atau 6 variasi putaran, proses pengambilan data juga harus dilakukan secara berulang minimal untuk satu *sample* dilakukan sebanyak 3 kali sehingga data yang dihasilkan lebih akurat.

Lampiran

Penentuan Nilai Kalor Bahan Bakar (Biosolar dan CNG)

Berdasarkan *National Institute of Standards and Technology* dan Publikasi Ilmiah dari John W Bartok, didapatkan data *Compressed Compressed Natural Gas* (CNG) sebagai berikut :

- Metode penyimpanan : compressed gas
- Tekanan penyimpanan : 200 - 248 MPa
- Heating Value : 38,419 MJ/L

Sementara untuk nilai kalor dari Biosolar Berdasarkan table 2.1. (Lampiran Keputusan Dirjen Migas 3675 K/24/DJM/2006 tanggal 17 Maret 2006) dan data dari *Alternative Fuels Data Center* (AFDC), didapatkan data sebagai berikut :

- Metode penyimpanan : cair
- Tekanan penyimpanan : 101,3 kPa
- Massa jenis : 833 kg/m³
- Heating Value : 35,83755 MJ/L

Untuk menentukan nilai kalor (*heating value*) dari mesin dan berdasarkan Spesifikasi Mesin Diesel Yanmar TF85 MH Tabel 3.1 diketahui bahwa besarnya bahan bakar yang diinjeksikan kedalam ruang bakar pada tiap penginjeksian adalah 0.07 mL atau 0.7×10^{-4} Liter dikalikan dengan nilai kalor dari biosolar sehingga dapat diperoleh nilai kalor (*heating value*) adalah :

$$\begin{aligned}HV_{Eng/Inj} &= HV_{Biosolar} \times FC_{per\ inj} \\&= 35,83755 \text{ MJ/L} \times 0.7 \times 10^{-4} \text{ L} \\&= 25.095 \times 10^{-4} \text{ MJ} \\&= 0.0025095 \text{ MJ}\end{aligned}$$

Jadi energi yang dihasilkan oleh pembakaran dari mesin diesel pada putaran maksimal (2200 Rpm) berdasarkan nilai kalornya sama dengan

mengalikan nilai kalor dari biosolar dengan besarnya konsumsi bahan bakar biosolar per injeksi 0,07 mL, yaitu 0.0025095 MJ

Penentuan Kebutuhan Bahan Bakar

Spesifikasi Mesin Diesel Yanmar TF85 MH, diketahui bahwa besarnya Biosolar yang masuk kedalam ruang bakar pada tiap penginjeksian adalah 0.07 mL dalam kondisi 100% tanpa penambahan *Compressed Natural Gas*. Besaran volume tiap injeksi dari gas yang setara dengan memasukkan 0,07 mL biosolar kedalam ruang bakar dapat diketahui dengan cara membagi antara nilai kalor mesin dengan nilai kalor CNG. Adapun besaran dari volume tiap injeksi CNG adalah:

$$\begin{aligned} Vol_{perInjeksiCNG} &= \frac{HVEng}{HVCng} \\ &= \frac{0,0025095 \text{ MJ}}{35,83755 \text{ MJ/L}} \\ &= 6,53 \times 10^{-5} \text{ L} \end{aligned}$$

Nilai diatas merupakan besaran volume CNG yang diinjeksikan kedalam ruang bakar dalam kondisi 100%. Adapun untuk volume CNG yang diinjeksikan untuk menggantikan kekurangan biosolar hasil modifikasi *Packing* Injektor dengan penambahan 1 sim dan dalam kondisi mesin berputar sebanyak 1500 kali per menit adalah:

$$\begin{aligned} Vol_{InjeksiTiapRPM} &= (Vol_{InjeksiCNG} \cdot 10\%) \cdot 1000 \cdot \left(\frac{1500 \text{ Rpm}}{2} \right) \\ &= (6,53 \cdot 10^{-5} \text{ L} \cdot 10\%) \cdot 1000 \text{ mL} \cdot \left(\frac{1500 \text{ Rpm}}{2} \right) \\ &= 4,90 \text{ mL} \end{aligned}$$

Sehingga secara teoritis volume CNG yang dapat menggantikan kekurangan Biosolar hasil modifikasi *Packing* Injektor untuk Rpm 1500 dan dalam kondisi 10% CNG adalah 4,90 mL, selanjutnya untuk volume CNG berdasarkan variasi RPM dan persentase komposisi CNG yang digunakan selengkapnya dapat dilihat dapat dilihat pada Tabel 1:

Tabel 1 Persentase Volume Bahan Bakar CNG Tiap Rpm

HV Engine	vol/inj Gas	Sample	vol/injeksi Gas	Rpm 1500	Rpm 1800	Rpm 2200
[Mj]	[L]	CNG	[%]	[ML]		

0,00251	6,53x10 ⁻⁵	CNG1	6.53 x 10 ⁻⁶	4.90	5.88	7.19
		CNG2	1.31 x 10 ⁻⁵	9.80	11.76	14.37
		CNG3	1.96 x 10 ⁻⁵	14.70	17.64	21.56
		CNG4	2.61 x 10 ⁻⁵	19.60	23.51	28.74

Data Performa Mesin

Tabel 2. Data Performa Mesin Sampel Biosolar Murni

No	Putaran Engine	Daya (Ne)	SFC	Nilai Kalor (Q)	Torsi	eff thermal (η_t)
	(RPM)	(kW)	gr/kW.h	KJ/Kw.h	(N.m)	(%)
1	1500	0	0	11186	0	0
2		0.518	590	13583	3.30	13.01
3		1.093	371	17988	6.96	20.70
4		1.593	355	25115	10.14	21.61
5		1.999	366	32466	12.73	22.98
6		2.239	419	41597	14.26	21.34
7	1800	0	0	13866	0	0
8		0.842	482	17988	4.47	13.94
9		1.638	295	21469	8.69	24.22
10		2.376	308	32466	12.61	24.83
11		3.000	312	41597	15.92	25.58
12		3.438	335	51196	18.25	22.89
13	2200	0	0	35029	0	0
14		1.307	717	41597	5.68	14.22
15		2.561	404	45900	11.12	19.01
16		3.699	312	51196	16.06	24.62
17		4.648	307	63386	20.19	25.69
18		5.353	311	73950	23.25	24.67

Tabel 3. Data Performa Mesin Sampel DF CNG1

No	Putaran Engine	Daya (Ne)	SFC	Nilai Kalor (Q)	Torsi	eff thermal (η_t)
	(RPM)	(kW)	(gr/kWh)	KJ/Kw.h	(%)	(%)
1	1500	0	0	8866	0	0
2		0.597	698	10240	3.80	12.65
3		1.166	406	12702	7.42	21.64
4		1.722	312	15541	10.97	27.98
5		2.077	287	18096	13.23	30.34
6		2.432	285	22389	15.49	30.37
7	1800	0	0	10320	0	0
8		0.965	592	13479	5.12	14.96
9		1.665	364	15011	8.84	24.25
10		2.390	298	19716	12.68	29.35
11		3.032	261	23175	16.09	33.40
12		3.399	236	23589	18.04	34.99
13	2200	0	0	17851	0	0
14		1.307	656	20323	5.68	13.49
15		2.552	355	22389	11.08	24.90
16		3.670	278	27520	15.94	31.54

17		4.607	231	29355	20.01	35.71
18		5.301	263	44033	23.02	32.91

Tabel 4. Data Performa Mesin Sampel DF CNG2

No	Putaran Engine	Daya (Ne)	SFC	Nilai Kalor (Q)	Torsi	eff thermal (η_t)
	(RPM)	(kW)	(gr/kWh)	KJ/Kw.h	(%)	(%)
1	1500	0	0	6938	0	0
2		0.468	1196	8175	2.98	5.14
3		1.088	540	9369	6.93	11.57
4		1.651	385	11460	10.51	16.63
5		2.172	302	12342	13.83	21.41
6		2.475	291	15100	15.76	22.83
7	1800	0	0	8072	0	0
8		0.768	991	9873	4.08	6.09
9		1.636	477	10696	8.68	12.76
10		2.425	352	13801	12.87	17.82
11		3.093	281	14422	16.42	22.47
12		3.676	241	15280	19.51	26.29
13	2200	0	0	12342	0	0
14		1.365	807	13232	5.93	7.39
15		2.594	450	16044	11.26	13.52
16		3.780	310	16247	16.42	19.66
17		4.801	253	18078	20.85	24.38
18		5.578	248	25167	24.22	25.97

Tabel 5. Data Performa Mesin Sampel DF CNG3

No	Putaran Engine	Daya (Ne)	SFC	Nilai Kalor (Q)	Torsi	eff thermal (η_t)
	(RPM)	(kW)	(kg/kWh)	KJ/Kw.h	(%)	(%)
1	1500	0	0	5803	0	0
2		0.540	1336	6847	3.44	3.44
3		1.058	702	7713	6.74	6.65
4		1.511	518	9375	9.63	9.27
5		2.085	383	9990	13.28	12.68
6		2.494	342	12187	15.88	14.70
7	1800	0	0	6885	0	0
8		0.827	1201	8018	4.39	3.73
9		1.636	639	10156	8.68	7.21
10		2.392	452	11607	12.70	10.39
11		3.075	354	11832	16.32	13.33
12		3.676	297	12067	19.51	15.89
13	2200	0	0	9990	0	0
14		1.216	1196	10785	5.28	3.70
15		2.542	577	11285	11.04	7.71
16		3.719	402	12436	16.15	11.19
17		4.793	322	14338	20.82	14.23

18	5.522	292	17165	23.98	16.08
----	-------	-----	-------	-------	-------

Data Kuantitas *Fuel* per Injeksi

Tabel. 6 Tabel Jumlah Biosolar setiap injeksi

No	Putaran Engine	JumlahBhnBkr	Biosolar per Injeksi			
			Biosolar	DF CNG 1	DF CNG 2	DF CNG 3
	(Rpm)		(ml)	(ml)		
1	1500	10	0.0067	0.0054	0.0044	0.0038
2			0.0082	0.0062	0.0051	0.0045
3			0.0108	0.0077	0.0058	0.0051
4			0.0151	0.0094	0.0071	0.0062
5			0.0195	0.0110	0.0077	0.0066
6			0.0250	0.0136	0.0094	0.0080
7	1800	10	0.0069	0.0052	0.0042	0.0038
8			0.0090	0.0068	0.0051	0.0044
9			0.0108	0.0076	0.0056	0.0056
10			0.0163	0.0100	0.0072	0.0063
11			0.0208	0.0117	0.0075	0.0065
12			0.0256	0.0119	0.0075	0.0066
13	2200	10	0.0144	0.0074	0.0052	0.0045
14			0.0170	0.0084	0.0059	0.0048
15			0.0188	0.0092	0.0068	0.0051
16			0.0210	0.0114	0.0069	0.0056
17			0.0260	0.0121	0.0077	0.0064
18			0.0303	0.0182	0.0107	0.0077
Jumlah bb/n Injeksi						

Tabel. 7. Tabel Jumlah CNG setiap injeksi

No	Putaran Engine (Rpm)	JumlahBhnBkr (ml)	CNG per Injeksi			
			Biosolar	DF CNG 1	DF CNG 2	DF CNG 3
1	1500	10	0.00052	0.00044	0.00038	0.00052
2			0.00061	0.00051	0.00045	0.00061
3			0.00073	0.00058	0.00051	0.00073
4			0.00088	0.00071	0.00062	0.00088
5			0.00105	0.00077	0.00066	0.00105
6			0.00127	0.00094	0.00080	0.00127
7	1800	10	0.00051	0.00042	0.00038	0.00051
8			0.00066	0.00051	0.00044	0.00066
9			0.00072	0.00056	0.00056	0.00072
10			0.00094	0.00072	0.00063	0.00094
11			0.00109	0.00075	0.00065	0.00109
12			0.00109	0.00075	0.00066	0.00109
13	2200	10	0.00069	0.00052	0.00045	0.00069
14			0.00081	0.00059	0.00048	0.00081
15			0.00088	0.00068	0.00051	0.00088

16		0.00107	0.00069	0.00056	0.00107
17		0.00109	0.00077	0.00064	0.00109
18		0.00182	0.00107	0.00077	0.00182
Jumlah bb/n Injeksi					

Tabel. 8. Tabel Prosentase Penghematan Harga Bahan Bakar

No	PutaranMesin	Penghematan Vol DF CNG1	Penghematan Vol DF CNG2	Penghematan Vol DF CNG3
	(RPM)	[%]	[%]	[%]
2	1500	24%	35%	41%
3		29%	42%	49%
4		38%	48%	54%
5		44%	57%	63%
6		46%	59%	65%
8	1800	24%	40%	48%
9		30%	45%	45%
10		39%	52%	57%
11		44%	60%	66%
12		54%	67%	71%
14	2200	51%	63%	70%
15		51%	51%	70%
16		46%	46%	70%
17		53%	53%	72%
18		40%	40%	73%
1-(Harga bb mode gas/Harga bb mode diesel)*100%				

Data Besaran Harga Konsumsi Bahan Bakar per Jam

Tabel. 9. Tabel Besaran Harga Konsumsi Bahan Bakar Biosolar per Jam

No	SampelBahanBakar	Beban	HargaBahanBakar per PutaranMesin (Rpm) per Jam Pada Mode Diesel (Rupiah)								
			1500			1800			2200		
			FC Diesel	Harga	Total	FC Diesel	Harga	Total	FC Diesel	Harga	Total
1	Biosolar	1	0.306	3366	3400	0.405	4458	4500	0.937	10308	10400
2		2	0.405	4458	4500	0.484	5320	5400	1.034	11374	11400
3		3	0.566	6224	6300	0.731	8046	8100	1.153	12687	12700
4		4	0.731	8046	8100	0.937	10308	10400	1.428	15708	15800
5		5	0.937	10308	10400	1.153	12687	12700	1.666	18326	18400

Tabel. 10. Tabel Besaran Harga Konsumsi Bahan Bakar DF CNG 1 per Jam

No	SampelBahanBakar	Beban	HargaBahanBakar per PutaranMesin (Rpm) per Jam Pada Mode Gas (Rupiah)								
			1500			1800			2200		
			Diesel	Gas	Total	Diesel	Gas	Total	Diesel	Gas	Total
1	DF CNG 1	1	2499	0.0097	2499	3266	0.0154	3266	4923	0.0288	4923

2	2	3026	0.0118	3026	3586	0.0169	3586	5320	0.0311	5320
3	3	3625	0.0141	3625	4646	0.0219	4646	6468	0.0379	6468
4	4	4340	0.0169	4340	5408	0.0255	5408	6597	0.0386	6597
5	5	5236	0.0203	5236	5408	0.0255	5408	10996	0.0644	10996

Tabel. 11. Tabel Besaran Harga Konsumsi Bahan Bakar DF CNG 2 per Jam

No	SampelBahanBakar	Beban	HargaBahanBakar per PutaranMesin (Rpm) per Jam Pada Mode Gas (Rupiah)								
			1500			1800			2200		
			Diesel	Gas	Total	Diesel	Gas	Total	Diesel	Gas	Total
1	DF CNG ₂	1	2101	0.0173	2101	2537	0.0173	2537	3586	0.0455	3586
2		2	2408	0.0198	2408	2749	0.0198	2749	4123	0.0523	4123
3		3	2945	0.0242	2945	3547	0.0242	3547	4176	0.0530	4176
4		4	3172	0.0261	3172	3706	0.0261	3706	4646	0.0589	4646
5		5	3881	0.0319	3881	3706	0.0319	3706	6468	0.0820	6468

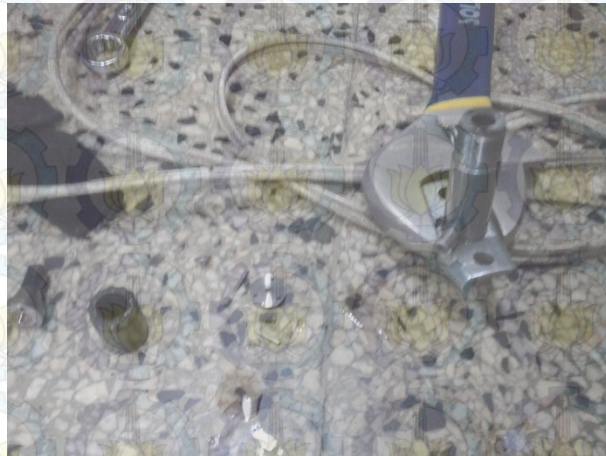
Tabel. 12. Tabel Besaran Harga Konsumsi Bahan Bakar DF CNG 3 per Jam

No	SampelBahanBakar	Beban	HargaBahanBakar per PutaranMesin (Rpm) per Jam Pada Mode Gas (Rupiah)								
			1500			1800			2200		
			Diesel	Gas	Total	Diesel	Gas	Total	Diesel	Gas	Total
1	DF CNG ₃	1	1853	0.0164	1853	2170	0.0198	2170	2919	0.0276	2919
2		2	2088	0.0184	2088	2749	0.0250	2749	3054	0.0289	3054
3		3	2537	0.0224	2537	3142	0.0286	3142	3366	0.0319	3366
4		4	2704	0.0239	2704	3203	0.0291	3203	3881	0.0368	3881
5		5	3299	0.0291	3299	3266	0.0297	3266	4646	0.0440	4646

Data Lampiran Gambar Pengujian dan Modifikasi Injektor



Gambar1. Pengaturan Volume CNG Injeksi



Gambar2. Pemasangan Sim Pada Injektor (*Packing Injector*)



Gambar 3. Pemasangan Sim Pada Injektor (*Packing Injector*)



Gambar 4. Sim dengan Ketebalan 1 mm



Gambar 5. Perbandingan Kuantitas Biosolar Hasil Modifikasi *Spring* Injektor

Data Spesifikasi Kandungan Biosolar

Page 27



KONTROL KUALITAS PRODUK BIOFUEL PERTAMINA DILAKUKAN SESUAI KETENTUAN YANG DITETAPKAN DAN DIVERIFIKASI OLEH LEMBAGA TERAKREDITASI

PT. PERTAMINA (PERSERO)
Unit Produksi Pelumas Jakarta
LABORATORIUM
Jl. Jampoa No.1 Tanjung Priok, Jakarta



TEST REPORT

Jenis Sampel	BIO SOLAR	Nomor Test Report	1899/2008-S2
Asal Sampel	F.Point 65/66/67 PLP Jl. Yos Sudarso Plumpang Jakarta Utara	Tanggal Test Report	14.10.2008
Nomor Sampel	-	Pengambil Sampel	QQ Depot Plumpang
Nomor Batch	-	Tanggal Pengambilan sampel	14.10.2008
Nomor Memo	240/QQ/PP/PLP/X/2008	Tanggal Diterima	14.10.2008
Tanggal Memo	14.10.2008	Jenis Pemeriksaan	Complete Test

Test	Method	Result
Appearance	IK-273/F3221	Clear
Colour ASTM	ASTM D 1500	L 2.0
Density at 15 °C	ASTM D 4052	848.2
Flash Point PMcc	ASTM D 93	73.0
Distillation	ASTM D 86	
Recovery at 300 °C		61.0
Recovery at 90 °C		354.0
Calculated Cetane Index	ASTM D 976	51
Viscosity Kinematic at 40 °C,	ASTM D 445	3.420
Water Content	ASTM D 95	< 0.05
Sulfur Content	ASTM D 2622	1207
CCR	ASTM D189	0.01
Pour Point	ASTM D 5950	0

Catatan :

Kpd. : Operation Head Depot Plumpang
cc. : Lab



Jakarta, 14 Oktober 2008
Pws. Utama Pengamatan



MURSIHAH T

Page 28



DAFTAR PUSTAKA

- Ariana, I.M. (2012), Sistem Permesinan Lanjut: *a Lecture Note*, Institut Teknologi Sepuluh November Surabaya
- Arismunandar, W, & Tsuda K. (1993). "Motor Diesel Putaran Tinggi". Pradaya Paramita. Jakarta
- Bao Yan, Sin Wei, Chengxun Xi, Yifu Liu, Ke Zeng, Ming-Chia Lai. (2011). "Experimental study of the effects of natural gas injection timing on the combustion performance and emissions of a turbocharged common rail dual-fuel engine". *Internasional Journal of applied energy Elsevier*, Vol. 87, Hal. 297-304.
- Bernard Challen, Rodica Baranescu, (1999), *Diesel Engine Reference Book, Second Edition*. Oxford, UK.
- Biro Klasifikasi Indonesia (2013) BKI 2013 Part 1. Vol 24 *Guidelines For The Use of Gas As Fuel For Ships 2013 Edition*, Indonesia
- BP Statistical Review of World Energy. (2014) 63rd edition. London
- Chedthawut Poompipatpong. (2011). "A modified diesel engine for natural gas operation: Performance and emission tests". *Internasional Journal of applied energy Elsevier*, Vol. 36, Hal. 6862-6866.
- Clarke, S. DeBruyn, J. (2012), *Vehicle Conversion to Natural Gas or Biogas. OMAFRA Factsheet Order No.12-043*, Canada
- Ditjen Migas (2015) *Pertumbuhan-Kebutuhan-Gas-Bumi-2015-2030-Capai-7-Persen*. [Internet], Indonesia. Available From : <<http://www.migas.esdm.go.id> > [Accesed 24nd Januari 2015]
- Ehsan, Md. (2009), "Dual Fuel Performance of a Small Diesel Engine for Applications with Less Frequent Load Variations". *Internasional Journal of Mechanical & Mechatronics Engineering IJMME-IJENS* Vol 09 No 10, Bangladesh
- Gopal, Munde G., dan Rajendra, Dalu S. (2012) "Compressed Natural Gas as an Alternative Fuel for Spark Ignition Engine: A Review",

International Journal of Engineering and Innovative Technology (IJEIT).

Greeneers. (2014) *prestasi terbesar bumh Pertamina minyak*. [Internet], Indonesia. Available From : < <http://greeneers.blogspot.com/2013/12> > [Accessed 3rd Februari 2015]

G.H. Abd Alla, H.A. Solaiman, O.A Badr, M.F. Abd Rabbo. (2000). "*Effect of Injection Timing on The Performance of A Gas Engine*". Zugazig University, Kairo, Egypt

H.S. Tira , J.M. Herreros , A. Tsolakis , M.L. Wyszynski. (2012). "*Characteristics of LPG-diesel dual fuelled engine operated with rapeseed methyl ester and gas-to-liquid diesel fuels*". Mechanical Engineering, University of Birmingham, Birmingham B15 2TT, UK

Hidayat, A.W. (2014). "*Kajian Eksperimental Unjuk Kerja Dual Fuel Engine Hasil Modifikasi dari Diesel Engine*". Skripsi. Institut Teknologi Sepuluh November, Surabaya

Ikhsan, A.R. (2014). "*Rancang Bangun Sistem Otomasi Diesel Dual Fuel (DDF) dengan Kontrol Programmable Logic Control (PLC)*". Skripsi. Institut Teknologi Sepuluh November, Surabaya

Imam Pujo Mulyatno, Sarjito Joko Sisworo, Dhimas Satriyan Panuntun. (2013) "*Kajian Teknis dan Ekonomis Penggunaan Dual Fuel System (Lpg-Solar) pada Mesin Diesel Kapal Nelayan Tradisional*". Teknik Perkapalan Universitas Diponegoro. Vol. 10. No. 2.

Jie Liu, Fuyuan Yang, Hewu Wang, Minggao Ouyang, Shougang Hao. (2013). "*Effects of pilot fuel quantity on the emissions characteristics of a CNG/diesel dual fuel engine with optimized pilot injection timing*". International Journal of applied energy Elsevier, Vol. 110, Hal. 201-206.

Kyunghyun Ryu. (2013). "*Effects of pilot injection pressure on the combustion and emissions characteristics in a diesel engine using biodiesel-CNG dual fuel*". International Journal of applied energy Elsevier, Vol. 76, Hal. 506-516.

Palupi Annisa A. "Untung Rugi Memakai BBG" , Republika 31-01-2012

Park, Talus. (1999). *"Gas Conversion Of A Direct Injection Diesel Engine"*. West Virginia University, Morgantown, West Virginia, US

Rahardjo, Oktavian,dkk.2011."Bahan Bakar Gas (CNG) Alternatif Pengganti BBM Kapal Perikanan".Balai Besar PengembanganPenangkapan Ikan : Semarang

Rahardjo,Oktavian,dkk.(2011) .*Petunjuk Teknis : Penggunaan Bahan Bakar Gas Pada Motor Penggerak Kapal Perikanan*.BalaiBesar Pengembangan Penangkapan Ikan :Semarang.

Rista R Dhany (2013), *Fakta-fakta Soal Cadangan Minyak RI Semakin Menipis*, [Internet], Indonesia. Available From : <<http://finance.detik.com/read/2013/07/14>>[Accesed 11ndOctober 2014]

Semindan Bakar, A.R. (2008). *"A Technical Review of Compressed Natural Gas as an Alternative Fuel for Internal Combustion Engines"*. "American J. of Engineering and Applied Sciences 1", hal 302-311.

Setiawan, W. (2014). .*"Analisis Teknis Penggunaan Coal Oil Mixture Sebagai Bahan Bakar Alternatif Pengganti Heavy Fuel Oil pada Motor Diesel"*. Tesis. Institut Teknologi Sepuluh November Surabaya

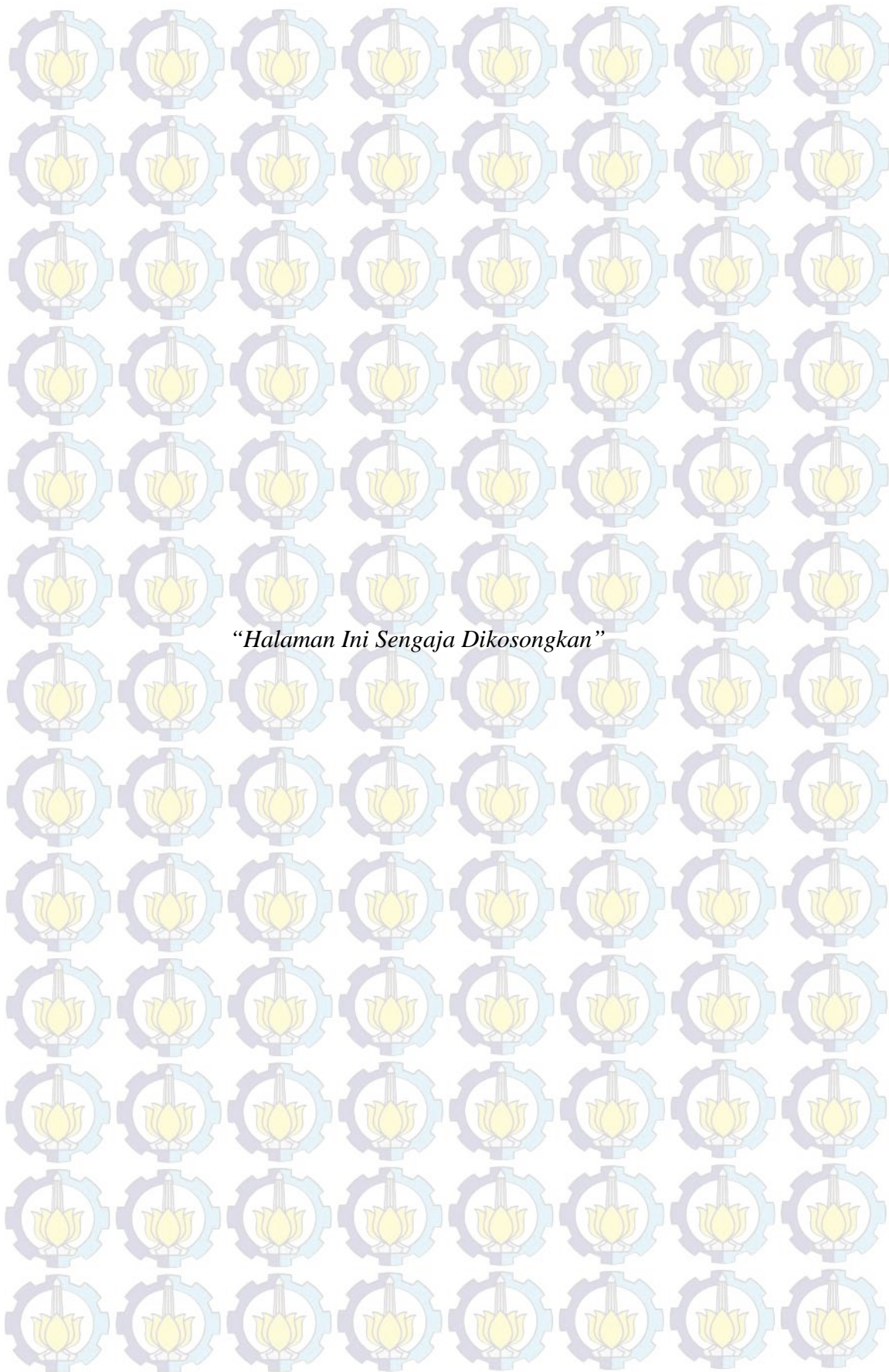
Sugiono A (2014). *Autlook Energy Indonesia 2014*. Pusat Teknologi Pengembangan Sumberdaya Energi (PTPSE) & Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi (BPPT). Jakarta.

Sukoco, M.Pd dan Zainal Arifin, M.T., (2008). *Teknologi Motor Diesel*. Alfabeta. Bandung

Talal F. Yusaf , D.R. Buttsworth , Khalid H. Saleh , B.F. Yousif (2010), *"CNG-diesel engine performance and exhaust emission analysis with the aid of artificial neural network"*. Internasional Journal of applied energy Elsevier,Vol. 87, Hal. 1661-1669.

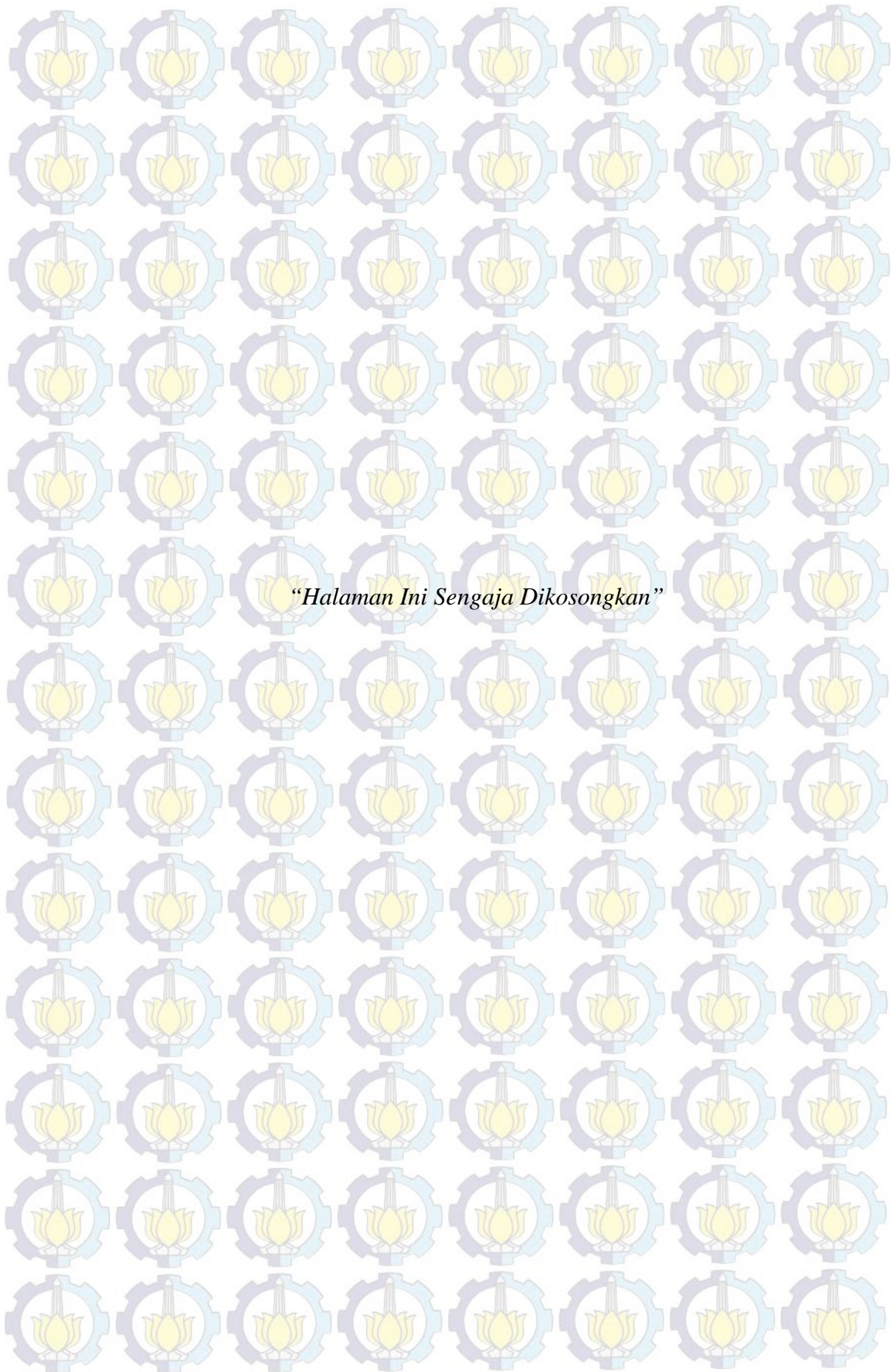
Vermeire, M.B (2007), *Everything You Need to Know About Marine Fuel*, Chevron Global Marine Products, Ghent, Belgium

Wijaya, P. D. (2014). *"Rancang Bangun Sistem Penginjeksian Gas pada Modifikasi Dual Fuel Diesel Engine"*. Skripsi. Institut Teknologi Sepuluh November, Surabaya



DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Produksi dan Konsumsi Bahan Bakar Minyak di Indonesia	2
Gambar 2.1 Tabung CNG (<i>Compressed Natural Gas</i>).	8
Gambar 2.3 Sistem injeksi pada Mesin <i>Diesel Dual Fuel</i>	9
Gambar 3.1 <i>Flowchart</i> Pelaksanaan Penelitian.....	15
Gambar 3.2 Instalasi Penginjeksian <i>Natural Gas</i>	20
Gambar 3.3 Desain Instalasi Penginjeksian Biosolar <i>Semi Common Rail</i>	21
Gambar 3.4 Skema Alat Pengujian.....	22
Gambar 4.1 <i>Spring</i> Injektor dengan Penambahan Sim.....	26
Gambar 4.2 Jumlah Kuantitas Biosolar Hasil Modifikasi Injektor	27
Gambar 4.3 Grafik SFC Terhadap Perubahan Daya pada Putaran 1500 Rpm.....	30
Gambar 4.4 Grafik SFC Terhadap Perubahan Daya pada Putaran 1800 Rpm.....	31
Gambar 4.5 Grafik SFC Terhadap Perubahan Daya pada Putaran 2200 Rpm.....	32
Gambar 4.6 Grafik Nilai Kalor (Q) vs Daya pada Putaran 2200 Rpm.....	33
Gambar 4.7 Grafik Efisiensi Termal Terhadap Daya pada Putaran 1500 Rpm	35
Gambar 4.8 Grafik Efisiensi Termal Terhadap Daya pada Putaran 1800 Rpm	36
Gambar 4.9 Grafik Efisiensi Termal Terhadap Daya pada Putaran 2200 Rpm	37
Gambar 4.9 Persentase Perbandingan Harga Bahan Bakar Tiap Putaran	42





Suardi, adalah pria kelahiran Rappang (Sidrap) yang merupakan salah satu kabupaten di Sulawesi Selatan (Sul-Sel) pada tanggal 26 Mei 1988. Merupakan anak bungsu dari 4 bersaudara dari pasangan (Alm Fahrudin dan Asiah A, Ma), pendidikan dasar diselesaikan di SDN 3 Panca Rijang yang kemudian dilanjutkan di SLTPN 1 Panca Rijang dan SMAN 1 Panca Rijang, setelah lulus jenjang SMA pada tahun 2006 serta dengan semangat menggapai cita-citanya, penulis melanjutkan studinya di bangku perkuliahan tepatnya di Unhas dengan mengambil Program Studi Teknik Sistem Perkapalan Jurusan Teknik perkapalan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin Makassar pada tahun 2007 dan menempuh jenjang perkuliahan selama 5 tahun dan mendapat gelar Sarjana Teknik dengan indeks prestasi 3.25, setelah lulus tingkat strata satu (S-1), penulis kemudian melanjutkan pendidikan di Program Pasca Sarjana Teknik Sistem dan Pengendalian Kelautan Fakultas Teknologi Kelautan Institut Teknologi sepuluh November Surabaya (FTK ITS Surabaya) pada tahun 2013, Selama di bangku perkuliahan, penulis menggeluti bidang Sistem Permesinan dan Instalasi Perkapalan.

Semasa melanjutkan pendidikan S-2 nya, beberapa pekerjaan profesional telah ditekuni selama di Surabaya yang meliputi *design* instalasi permesinan, kelistrikan, perpipaan, poros dan propeller, dan konstruksi perkapalan, kesemua itu lakukan dengan mulai bergabung dan aktif di perusahaan Konsultan Perkapalan yang bergerak di bidang *design* instalasi dan konstruksi kapal yaitu *PT R95 Naval Architect* sebagai *drafter* selama hampir 2 tahun. Dengan bidang keahlian yang digeluti adalah Sistem dan Instalasi Perkapalan, maka penulis pun mengambil tesis dengan judul “**Kajian Eksperimental Penggunaan *Natural Gas* dan Biosolar pada Mesin Diesel**”

suardifahrudin@yahoo.co.id



081543274751

085244317201

Kajian Eksperimental penggunaan Bahan Bakar Biosolar pada Mesin Diesel Dual Fuel Berbahan Bakar Biosolar dan CNG

Suardi^{1*}, I Made Ariana², Aguk Zuhdi M. F³

1. Program Pasca Sarjana Teknologi Kelautan ITS

2. Jurusan Teknik Sistem Perkapalan FTK ITS

3. Jurusan Teknik Sistem Perkapalan FTK ITS

Gedung W Kampus ITS Keputih Sukolilo, Surabaya, 60111

*Email: suardifahrudin@yahoo.co.id

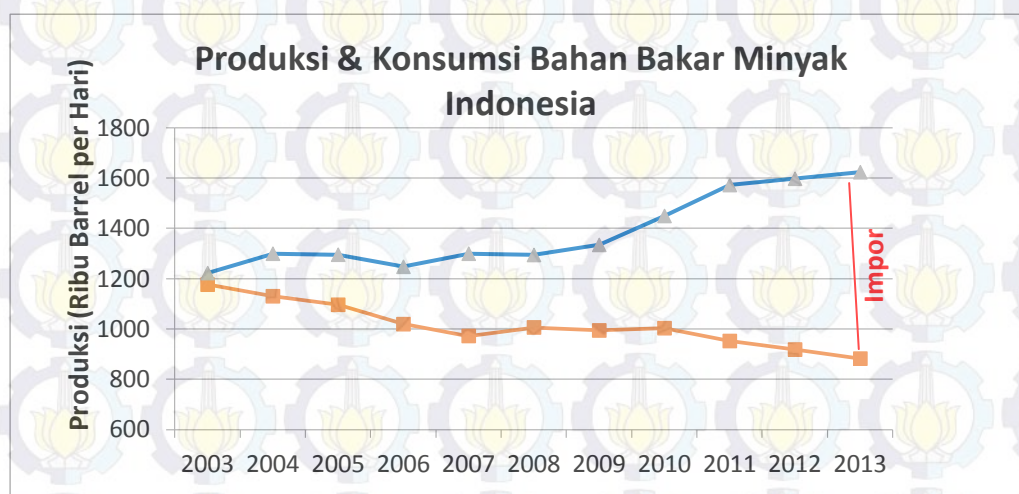
Abstrak

Abstrak-Berbagai penelitian tentang pengoptimalisasian bahan bakar mesin diesel telah dilakukan dan salah satunya yaitu system pengkombinasian bahan bakar antara minyak bumi dan gas. Salah satunya adalah proses desain system suplay bahan bakar gas untuk mesin diesel DDF (Dual Fuel) Natural Gas – Biosolar, pada penelitian tersebut jumlah bahan bakar solar yang di suplay tetap 100% kemudian ditambahkan suplay natural gas sebanyak 20%. Berdasarkan hasil pengujian, CNG mampu mensubstitusi kebutuhan Biosolar sampai 75%. Penelitian ini merupakan pengembangan dari penelitian diatas dimana untuk tahapan awal dari penelitian secara keseluruhan tentang kajian eksperimental penggunaan bahan bakar dual fuel pada mesin diesel. Tahapan ini akan ditekankan pada desain rancang bangun system bahan bakar Biosolar dengan kapasitas suplay bahan bakar Biosolar yang diharapkan adalah 80% ditambah 20% lainnya dari CNG. Proses penginstalan mesin DDF ini sedikit berbeda dengan instalasi mesin pada umumnya karna untuk proses pengontrolan mesin sendiri akan digunakan sebuah alat pengontrol otomasi yang diharapkan dapat mengatur timing injection gasnya sedangkan pada instalasi Biosolarnya dilakukan modifikasi injektor sehingga konsumsi Biosolarnya dapat dikurangi hingga mencapai tingkat komposisi bahan bakar yang ideal. Hasil daripada penelitian ini akan menghasilkan tingkatan pencampuran bahan bakar yang paling optimal jika diukur dari tingkat performa mesin yang dihasilkan dengan daya, Torsi, SFC dan BMEP yang lebih baik dibandingkan dengan penggunaan Biosolar murni.

I. PENDAHULUAN

Perkembangan jaman yang semakin modern membuat ketergantungan manusia akan penggunaan mesin diesel semakin meningkat pula, mulai dari moda transportasi, industri, sistem pembangkit tenaga listrik dan sebagainya, hampir sebagian besar mengandalkan mesin diesel sebagai sumber tenaganya, disisi lain, semakin meningkatnya penggunaan mesin diesel juga akan meningkatkan jumlah konsumsi minyak bumi khususnya solar sebagai bahan bakarnya, sementara itu, untuk cadangan minyak bumi Indonesia saja semakin hari semakin menipis, hal ini didasarkan pada tingkat kemampuan produksi yang berasal dari cadangan minyak yang ada hanya mencapai 800-900 ribu barel per hari. Padahal, kebutuhan dalam negeri dari tahun ketahun terus meningkat mencapai 1,6 juta barel per hari, hal ini mengindikasikan bahwa rasio perbandingan antara produksi dan konsumsi minyak telah mencapai 650000 barrel per hari dan itu ditutupi dengan pengadaan impor (BP Statistical Review 2014). Selain itu, berdasarkan data Pertamina, sepanjang Januari-Juni 2012, penyaluran BBM bersubsidi jenis premium, solar, dan minyak tanah sudah menembus angka 21,7 juta kiloliter atau 109,4 persen dari kuota yang ditetapkan. Perinciannya, premium (13,6 juta kiloliter atau 112 persen dari kuota) dan solar (7,5 juta kiloliter atau 110 persen dari kuota). Hanya minyak tanah yang konsumsinya di bawah kuota, yakni 70 persen, karena adanya program konversi minyak tanah ke elpiji..

Disisi lain, harga patokan BBM dari tahun ketahun selalu mengalami kenaikan harga, hal ini berdampak langsung kepada masyarakat khususnya golongan menengah kebawah dimana dengan naiknya harga BBM mendorong naiknya harga bahan pokok lainnya, upaya pemerintah untuk menekan harga BBM agar tidak terlalu memberatkan masyarakat dilakukan dengan cara menggelontorkan dana ratusan triliun, berdasarkan data dari BPPT 2014 menyatakan bahwa Pada tahun 2011 saja subsidi energi telah mencapai 195,3 triliun Rupiah dan meningkat secara signifikan menjadi 268 triliun Rupiah pada tahun 2013 guna mensubsidi BBM dengan maksud untuk mengendalikan harga jual BBM di dalam negeri, sebagai salah satu kebutuhan dasar masyarakat, sedemikian rupa, sehingga dapat terjangkau oleh daya beli masyarakat. Hal ini dikarenakan harga jual BBM dalam negeri sangat dipengaruhi oleh perkembangan berbagai faktor eksternal, terutama harga minyak mentah di pasar dunia, dan nilai tukar rupiah terhadap dolar Amerika Serikat, rasio perbandingan antara produksi dan konsumsi BBM di Indonesia dari tahun 2003 sampai 2013 semakin membengkak.



Gambar. 1. Grafik Perbandingan Produksi dan Konsumsi Bahan Bakar Minyak Indonesia (BP Statistical Review 2014)

Sebuah metode baru mulai dikembangkan yaitu dengan menggunakan system dual fuel bahan bakar campuran antara diesel oil dengan Natural Gas yang biasa disebut dengan diesel bahan bakar ganda atau *Diesel Dual Fuel* (DDF). Natural Gas merupakan salah satu BBG yang berpotensi untuk menggantikan atau mengurangi penggunaan BBM sebagai bahan bakar Kedepannya. Sistem diesel bahan bakar ganda atau *Diesel Dual Fuel* (DDF) dengan menggunakan tambahan bahan bakar gas, yaitu *Natural Gas* dan selanjutnya akan divariasikan jumlah konsumsi bahan bakarnya hingga didapatkan performance mesin yang lebih baik. Disamping itu akan dilakukan perbandingan performa mesin dengan variasi campuran bahan bahan bakar yang akan diujikan sehingga dapat dilihat tingkat posisi pencamburan bahan bakar yang lebih efektif dan lebih efisien yang dapat diterapkan pada mesin diesel ini. Sementara untuk sistem pengaturan bahan bakar akan menggunakan sistem sensor elektrik dengan bantuan alat otomasi sebagai pengatur system penginjeksian bahan bakar gas dan *Diesel Oilnya*.

Berdasarkan latar belakang yang ada maka tujuan dan manfaat penelitian akan menitik beratkan pada analisa penggunaan bahan bakar campuran antara *Natural Gas* dan *diesel oil* pada mesin diesel yanmar TF 85 MH dimana tingkat penggunaan bahan bakar yang lebih efektif diharapkan dapat terealisasi sehingga kedepannya diharapkan dapat dijadikan sebagai bahan bakar alternatif guna mengurangi tingkat ketergantungan terhadap pemakaian *Diesel Oil*. Selain itu akan dilakukan suatu modifikasi rancang bangun sistem penginjeksian bahan bakar solarnya dan untuk system penginjeksian gasnya akan dikontrol oleh alat kontrol otomasi yaitu PLC. Selain itu, akan

dibandingkan hasil performa mesin diesel yang terbaik yang dihasilkan oleh mesin diesel berdasarkan perbandingan komposisi bahan bakar yang ada. Sedangkan manfaat yang diharapkan adalah untuk menemukan bahan bakar alternatif selain *Diesel Oil* serta.

II. TINJAUAN PUSTAKA

Ada banyak bahan bakar yang dapat digunakan untuk bahan bakar alternatif pada mesin diesel mulai dari bahan bakar nabati, hewani hingga kombinasi keduanya atau campuran antara bahan bakar fosil dengan bahan bakar lainnya. Hal ini tidak terlepas karena faktor menipisnya cadangan minyak bumi kita yang mengharuskan kita terus melakukan pengkajian dan eksperimen guna mencari dan menemukan suatu bahan bakar baru, bahan bakar alternatif yang bias dimanfaatkan massal dimasa yang akan datang.

Salah satu bentuk nyata dari pengkajian bahan bakar alternatif yang akhir-akhir ini digalakkan adalah diesel dual fuel engine, metode ini menjadikan mesin diesel dapat digerakkan dengan menggunakan bahan bakar yang selama ini tidak hanya menggunakan solar saja tapi gabungan antara solar dan bahan bakar gas mengingat untuk bahan bakar gas sendiri masih belum banyak dioptimalkan dan cadangannya pun tergolong masih banyak khususnya di Indonesia.

Pada modifikasi motor diesel normal menjadi dual fuel, udara murni yang dihisap akan dicampurkan dengan gas, sehingga hanya sedikit volume solar yang dibutuhkan supaya terjadi ledakan. Motor diesel bahan bakar campuran gas kebanyakan menggunakan intake valve untuk memasukan gas bersamaan dengan udara murni. Pengoperasian dengan mode dual fuel ini dapat mengurangi emisi-emisi oksida nitrogen (NOx) mendekati 85%. Selain itu, pada saat beroperasi dengan gas alam dan bahan bakar berkadar belerang rendah, motor-motor diesel berbahan bakar ganda menghasilkan level-level kandungan SOx dan arang-para nyaris nol. (ABS, 2012)

Jika terjadi gangguan pasokan gas, motor diesel dual fuel akan mengganti pengoperasiannya dari gas menjadi pengoperasian bahan bakar minyak (Biosolar) pada beban berapapun secara otomatis. Selama pengoperasian bahan bakar minyak, motor dual fuel menggunakan proses diesel konvensional. Karena pada dasarnya sistem dual fuel ini adalah motor diesel biasa, maka apabila terjadi gangguan, sistem akan secara otomatis pindah ke diesel konvensional walau motor sedang beroperasi.

Adapun spesifikasi dari mesin diesel yang digunakan sebagai berikut

Tabel 1. Spesifikasi Diesel Yanmar TF85 MH

Engine (four stroke cycle)	TF85 MH
Number of cylinders	1
Combustion system	Direct Injection
Bore	85 mm
Stroke	87 mm
Displacement	493 cc
Compression Ratio	18
Max. Engine speed at full load	2200 RPM
Continuous Power Output	7.5 kW
Specific Fuel Consumption	171 gr/HP.h
Volume per Injection	0.07 mL

1. Performa Mesin Diesel

performance mesin adalah kemampuan mesin dalam melakukan putaran untuk menghasilkan tenaga atau power. Untuk mengetahui tingkat prestasi sebuah mesin, maka dapat dilihat dari beberapa parameter, diantaranya Daya efektif (Ne), Torsi (T), Konsumsi bahan bakar spesifik (SFOC) dan Efisiensi Thermal.

a. Torsi dan Daya

Torsi secara sederhana diartikan sebagai momen puntir. Pada motor diesel, torsi didefinisikan sebagai momen yang dihasilkan akibat tekanan dari piston yang menghasilkan putaran pada sumbu longitudinal dalam hal ini adalah poros engkol. Sedangkandaya diidentikkan dengan

kemampuan suatu mesin untuk melakukan kerja (Pounder's,2004). Daya menunjukkan kemampuan suatu mesin untuk memindahkan atau menahan beban tiap satuan waktu.

Torsi dan daya sangat erat kaitannya satu sama lain. Masing-masing merupakan output dan fungsi dari putaran mesin. Untuk menghitung torsi dan daya dapat menggunakan rumus berikut:

$$P_B = \frac{2\pi n}{60} T$$

Dimana :

P_B = Daya keluaran (watt)

N = putaran mesin (rpm)

T = Torsi (N.m)

b. *Specific Fuel Oil Consumption (SFOC)*

Specific Fuel Oil Consumption atau pemakaian bahan bakar spesifik adalah jumlah bahan bakar yang digunakan untuk setiap satuan daya yang dihasilkan dalam waktu 1 jam, dinyatakan dalam kg/kW h. Faktor-faktor yang mempengaruhi SFOC yaitu:

1. Pembebanan pada motor diesel
2. Putaran motor diesel
3. Kecepatan laju aliran bahan bakar
4. Daya efektif motor diesel

Untuk menghitung SFOC digunakan rumus sebagai berikut:

$$SFOC = \frac{m_f \times 10^3}{P_B}$$

Dimana :

SFOC = konsumsi bahan bakar spesifik (g/kWh)

m_f = laju aliran bahan bakar (kg/jam)

P_B = Daya keluaran (watt)

Besarnya laju aliran massa bahan bakar (m_f) dihitung dengan persamaan berikut :

$$m_f = \frac{sg_f \cdot V_f}{t_f} \times 3600$$

Dimana :

Sg_f = Spesifik gravity (kg/liter)

V_f = volume bahan bakar yang diuji (liter)

t_f = waktu untuk konsumsi bahan bakar sebanyak sejumlah V_f (detik)

c. *Efisiensi Thermal*

Efisiensi termal menyatakan perbandingan antara daya yang dihasilkan terhadap jumlah energi bahan bakar yang diperlukan untuk jangka waktu tertentu atau bisa juga disederhanakan sebagai efisiensi pemanfaatan panas bahan bakar menjadi tenaga mekanik. Kerja efektif yang dihasilkan selalu lebih kecil dari pada energi yang dihasilkan oleh piston, karena sejumlah energi hilang akibat adanya rugi-rugi mekanis. Rumus yang digunakan untuk menghitung efisiensi termal adalah sebagai berikut:

$$\eta_b = \frac{\text{Daya keluaran aktual}}{\text{Laju panas yang masuk}}$$

Sedangkan laju panas yang masuk (Q), dapat dihitung dengan rumus berikut :

$$Q = m_f \cdot LHV$$

Dimana LHV : nilai kalor bawah bahan bakar (kJ/kg)

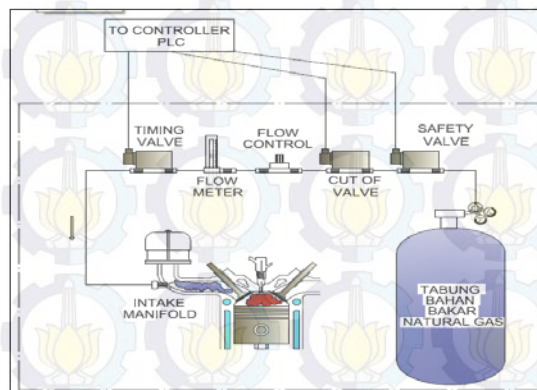
Jika daya keluaran (PB) dalam satuan kW, laju aliran bahan bakar mf dalam satuan kg/jam, maka :

$$\eta_b = \frac{P_E}{m_f \cdot LHV} \times 3600$$

III. PROSES PENELITIAN

Jenis penelitian yang digunakan adalah dengan metode eksperimental dimana penelitian ini merupakan pengembangan dari penelitian sebelumnya yang mana akan difokuskan pada penghitungan besaran daya yang dihasilkan oleh mesin diesel yanmar TF 85 MH berdasarkan variasi konsumsi bahan bakar campuran yang di injeksikan. Proses pengontrolan katup injeksi bahan bakar Natural Gas akan dikontrol oleh Suatu alat kontrol otomasi yaitu PLC (*Programmable Logic Control*), sementara untuk system penginjeksian Biosolarnya akan dilakukan modifikasi berupa penambahan sim atau lempengan untuk menjangkal *spring* yang ada didalam *nozzle* sehingga akan menghasilkan variasi tekanan kerja dan kuantitas penginjeksian bahan bakar yang dihasilkan.

Pada tahap awal pengerjaan penelitian ini dimulai dengan membuat desain perancangan komponen – komponen yang diperlukan untuk membuat sistem ini. Sistem penginjeksian gas ini terdiri dari tabung gas CNG, *regulator high pressure*, katup *pneumatic (solenoid)*, *flow control*, *flowmeter*, gas tubing dan fitting. Komponen – komponen instalasi penginjeksian gasnya berfungsi untuk menginjeksikan bahan bakar gas dari tabung CNG yang bertekanan tinggi sampai ke *intake manifold* atau lubang udara masuk pada mesin dengan tekanan yang jauh lebih rendah. Mesin diesel sebagai objek utama penelitian juga harus *stanby* untuk dioperasikan sebagai mesin *dual fuel*.



Gambar. 2. Desain Rancangan Sistem Penginjeksian Bahan Bakar CNG (Wijaya, 2014)

Sementara untuk modifikasi instalasi bahan bakar solarnya cukup dengan menggunakan lempengan plat seng yang telah dimodifikasi sebelumnya untuk digunakan sebagai pengganti dari *spring nozzle*. Hal ini dilakukan agar kuantitas dari bahan bakar Biosolarnya dapat ditekan dan dikurangi konsumsinya hingga mencapai tingkatan tertentu dan jumlah bahan bakar solar yang dikurangi akan digantikan oleh bahan bakar CNG untuk mencukupinya.



Gambar. 3. Desain Rancangan Sistem Penginjeksian Bahan Bakar Solar

Pada tahap selanjutnya, akan dilakukan uji kerja eksperimen dengan pengujian beberapa variasi pembebanan dan dua variasi kecepatan yaitu 1800 Rpm dan 2200 Rpm. Pengujian ini akan membandingkan besarnya daya mesin yang dihasilkan, Nilai torsi, konsumsi bahan bakar solar dan efisiensi Thermal dari mesin baik sebelum dan sesudah diterapkannya aplikasi dual fuel ini di motor diesel.

IV. ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

IV.1 Modifikasi Kuantitas Tekanan Kerja Injektor Solar

Injektor yang digunakan adalah injektor standar yang ada pada mesin diesel yanmar TF 85MH. proses modifikasi akan dilakukan dengan cara memasang sim pada injektor yang digunakan, ketebalan tiap sim yang digunakan adalah 1 mm dan akan dipasang didalam *nozzle* sehingga kita mendapatkan tekanan yang berbeda dari tekanan spring standar serta jumlah kuantitas bahan bakar yang berbeda. proses pengambilan sampelnya dilakukan dengan cara memutar engkol mesin dan injektor tidak dalam kondisi terpasang pada *silinder head* serta mesin tidak dalam keadaan hidup, Biosolar yang disemprotkan sebanyak 40 kali kemudian ditampung dan diukur menggunakan gelas ukur

Tabel 2.Perbandingan Kuanitis Semprotan Bahan Bakar Biosolar Hasil Modifikasi Injektor

No	Modifikasi Biosolar	mL	N Injeksi
1	Nozzle Standar	2,6	40 Kali
2	Nozzle + 1 Sim	2,3	40 Kali
3	Nozzle + 2 Sim	2	40 Kali
4	Nozzle + 3 Sim	1,8	40 Kali
5	Nozzle + 4 Sim	1,7	40 Kali

Hasil pemodifikasian diatas hampir sama dengan nilai kuantitas penginjeksian Biosolar pada injektor dari mesin diesel yang digunakan yaitu pada kondisi 100% Biosolar setiap injeksinya mengeluarkan sebanyak 0,07 mL Biosolar, sedangkan nilai Biosolar yang dapat dikurangi kuantitas semprotannya dalam presentase 10 % sampai dengan 90% adalah:

Tabel 3.Prosentase Perbandingan Kuantitas Penginjeksian Bahan Bakar Biosolar dari 90% sampai 10%

No	% Solar	Vol % Biosolar	N Injeksi
1	10%	0,007	1 Kali
2	20%	0,014	1 Kali
3	30%	0,021	1 Kali
4	40%	0,028	1 Kali
5	50%	0,035	1 Kali
6	60%	0,042	1 Kali
7	70%	0,049	1 Kali
8	80%	0,056	1 Kali
9	90%	0,063	1 Kali

Untuk massa bahan bakar Natural Gas yang diinjeksikan untuk menggantikan kuantitas solar yang diinjeksikan sesuai dengan hasil perhitungan yang dilakukan oleh Wijaya, P. D. (2014) menyatakan bahwa 1 kali penginjeksian bahan bakar Biosolar sebesar 0.07 mL setara dengan memasukkan 57 mL CNG kedalam ruang bakar. Tabel berikut ini adalah besar nilai CNG secara teoritis yang dapat menggantikan Biosolar dalam prosentase 10 % sampai dengan 90%.

Tabel 4. Prosentase Perbandingan Kuantitas Semprotan Bahan Bakar CNG dari 90% sampai 10%

No	% CNG	Vol % CNG	N Injeksi
1	10%	5,70	1 Kali
2	20%	11,4	1 Kali
3	30%	17,1	1 Kali
4	40%	22,8	1 Kali
5	50%	28,5	1 Kali
6	60%	34,2	1 Kali
7	70%	39,9	1 Kali
8	80%	45,6	1 Kali
9	90%	51,3	1 Kali

IV.2 Analisis Performa Mesin

Pengujian performa mesin pada motor diesel ini bertujuan untuk mengetahui kinerja dari motor diesel dengan melihat daya, SFC (*specific fuel oil consumption*), dan efisiensi termal melalui eksperimen. Bahan bakar Biosolar digunakan sebagai acuan untuk pembandingan dalam mengukur unjuk kerja mesin diesel. Untuk memudahkan analisis performa mesin maka data yang telah diperoleh kemudian disajikan dalam bentuk grafik Daya, Torsi dan SFC terhadap Pembebanan yang diberikan di putaran mesin 1500, 1800 dan 2200 Rpm.

a. Daya (Ne) vs Beban

Dari hasil penelitian, menunjukkan bahwa daya efektif yang paling besar adalah pada sampel campuran 90% Biosolar+10% CNG di putaran 1500 Rpm yakni mencapai 2,432 kW pada pembebanan maksimum yaitu 5 kW sementara sampel bahan bakar 100% Biodiesel yaitu 2,107 kW di pembebanan yang sama.



Gambar. 2. Grafik Daya (Ne) vs Beban pada putaran 1500, 1800 dan 2200 Rpm

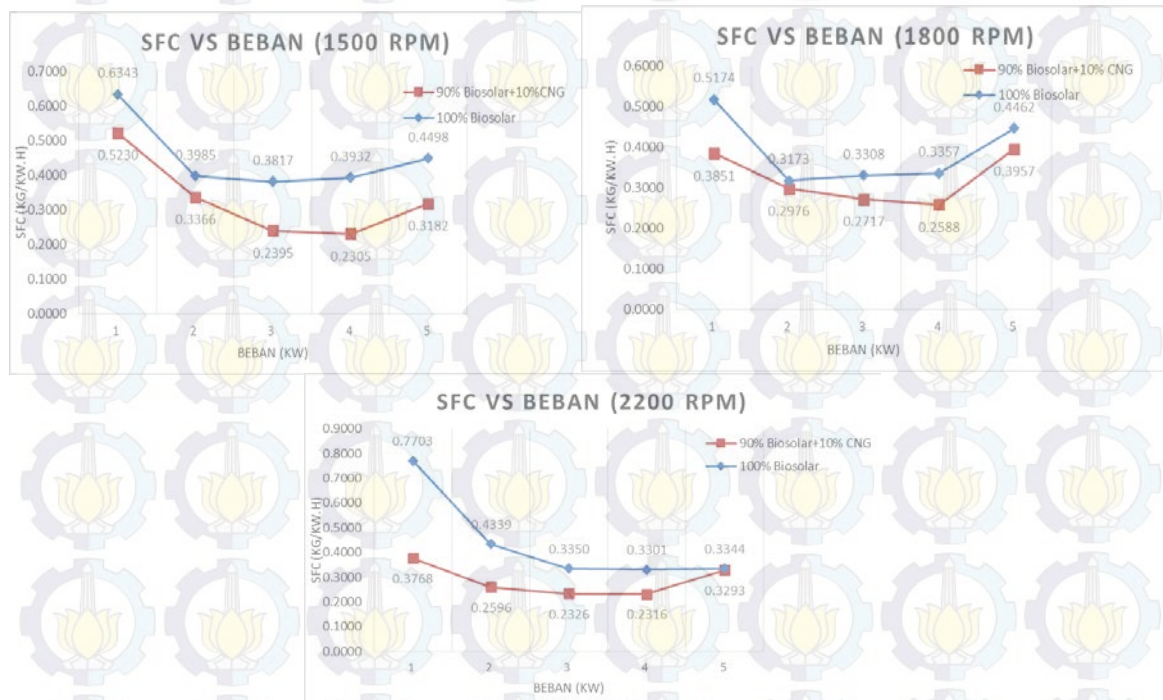
Pada penelitian di putaran 1800 Rpm menunjukkan bahwa daya efektif yang paling besar adalah pada sampel campuran 90% Biosolar+10% CNG mencapai 3,399 kW pada pembebanan maksimum yaitu 5 kW sementara sampel bahan bakar 100% Biodiesel terpaud sedikit jika

dibandingkan dengan bahan bakar dual fuel sebelumnya yaitu 3,236 kW di pembebanan yang sama. Sementara untuk penelitian di putaran maksimum yaitu 2200 Rpm menunjukkan bahwa daya efektif yang paling besar adalah pada sampel campuran 90% Biosolar+10% CNG mencapai 5,301 kW pada pembebanan maksimum yaitu 5 kW sementara daya sampel bahan bakar 100% Biodiesel masih berada dibawah daya yang dihasilakn oleh sample bahan bakar dual fuel sebelumnya yaitu 5,038 kW di pembebanan yang sama.

Pada grafik diatas mulai dari putaran 1500, 1800 hingga 2200 menunjukkan bahwa kombinasi pencampuran 10% CNG dan 90% Biosolar menghasilakn daya mesin yang lebih baik dari penggunaan bahan bakar Biosolar 100% tanpa penambahan CNG

b. SFC vs Beban

Berdasarkan hasil penelitian, diperoleh data bahwa konsumsi bahan bakar yang paling efisien pada sampel bahan bakar 90% Biosolar+10% CNG di putaran 1500 Rpm pada beban maksimum 5 kW yaitu 0,3182 kg/kW. H, sedangkan untuk pemakaian bahan bakar 100% Biosolar tanpa CNG yaitu sebesar 0,4498 kg/kW. h



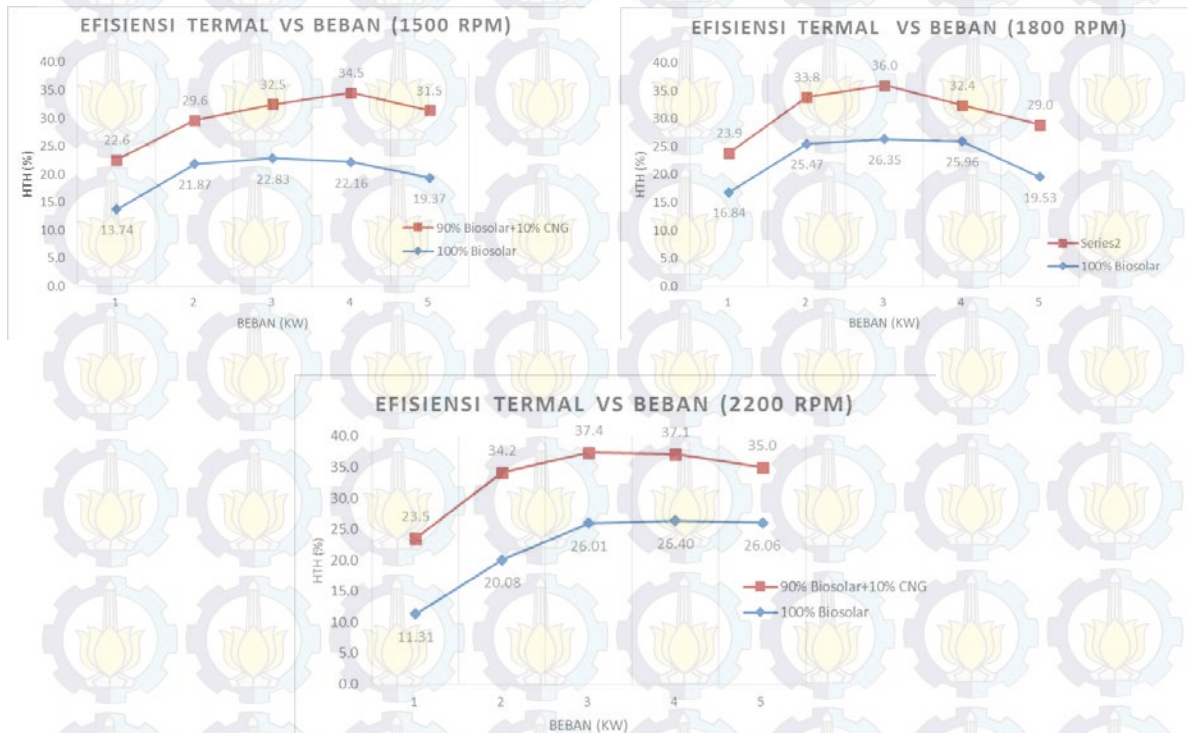
Gambar. 3. Grafik SFC vs Beban pada putaran 1500, 1800 dan 2200 Rpm

Untuk putaran 1800 Rpm, diperoleh data bahwa konsumsi bahan bakar yang paling efisien pada sampel bahan bakar 90% Biosolar+10% CNG pada beban maksimum 5 kW yaitu 0,3957 kg/kW. h, sedangkan untuk pemakaian bahan bakar 100% Biosolar tanpa CNG yaitu sebesar 0,4462 kg/kW. h. Untuk putaran 2200 Rpm, diperoleh data bahwa konsumsi bahan bakar yang paling efisien pada sampel bahan bakar 90% Biosolar+10% CNG pada beban maksimum 5 kW yaitu 0,3293 kg/kW. h, sedangkan untuk pemakaian bahan bakar 100% Biosolar tanpa CNG yaitu sebesar 0,3344 kg/kW. h.

Faktor yang mendasari lebih hematnya konsumsi Biosolar yang terpakai karena udara masuk yang melalui intake manifold telah tercampur sebagian bahan bakar gas dan gas tersebut akan terbakar dengan sendirinya sesaat setelah biosolar mulai terbakar di ruang bakar, penambahan CNG juga harus memperhitungkan kuantitas daripada biosolar yang diinjeksikan, semakin banyak CNG yang diinjeksikan tanpa disertai dengan penurunan kuantitas Biosolar yang diinjeksikan akan membuat mesin mengalami ketukan.

c. Efisiensi Termal vs Beban

Parameter efisiensi termal dari mesin diesel untuk sampel bahan bakar 90% Biosolar+10% CNG untuk pembebanan maksimum diputaran 1500 Rpm *engine* yaitu sebesar 39.76 $\eta_{th}\%$ dan mencapai puncaknya justru pada pembebanan 4 kW yaitu sebesar 54.89 $\eta_{th}\%$ sementara untuk bahan bakar Biosolar murni tanpa penambahan CNG untuk beban maksimum yaitu sebesar 19.37 .



Gambar. 4. Grafik Efisiensi Termal vs Beban pada putaran 1500, 1800 dan 2200 Rpm

Efisiensi termal dari mesin diesel pada putaran 1500 Rpm untuk sampel bahan bakar 90% Biosolar+10% CNG pada pembebanan maksimum yaitu sebesar 31.5 $\eta_{th}\%$ namun puncaknya justru pada pembebanan 4 kW yaitu sebesar 34.5 $\eta_{th}\%$. Untuk putaran 1800 Rpm untuk sampel bahan bakar 90% Biosolar+10% CNG pada pembebanan maksimum yaitu sebesar 29 $\eta_{th}\%$ namun puncaknya justru pada pembebanan 3 kW yaitu sebesar 36 $\eta_{th}\%$ sementara untuk bahan bakar Biosolar murni tanpa penambahan CNG untuk beban maksimum yaitu sebesar 19.53 . sedangkan pada putaran mesin 2200 Rpm untuk sampel bahan bakar 90% Biosolar+10% CNG pada pembebanan maksimum juga tetap lebih tinggi jika dibandingkan sampel 100% Biosolar dengan nilai 35 $\eta_{th}\%$ dan 26.06 $\eta_{th}\%$

IV. KESIMPULAN

Hasil daripada penelitian ini memberikan gambaran bahwa pemodifikasian mesin diesel standar menjadi mesin diesel dual fuel dapat dilakukan, hal ini juga diperkuat dengan menambahkan 10% CNG serta mengurangi konsumsi bahan bakar Biosolarnya dapat memberikan keuntungan baik dari segi kehematan bahan bakar Biosolar yang terpakai juga dapat memberikan performa mesin yang baik. Terlihat pada konsumsi bahan bakar antara menggunakan Biosolar murni dengan Biosolar+CNG sangat jelas perbedaan dari segi waktu konsumsi bahan bakarnya, pada putaran 1500 Rpm kondisi tanpa beban untuk sampel bahan bakar 90% Biosolar+10% CNG membutuhkan waktu 222 sekon untuk menghabiskan 10 mL Biosolar sementara untuk sampel Biosolar murni sendiri membutuhkan waktu 119 sekon untuk menghabiskan 10 mL biosolar, sementara untuk tingkat daya yang dihasilkan juga bahan bakar campuran 90% Biosolar+10% CNG dapat memberikan daya mesin yang jauh lebih baik dari

pemakaian bahan bakar Biosolar murni yaitu untuk beban maksimum pada putaran 2200 Rpm memberikan daya 5,301 kW lebih baik dari sampel yang Biosolar murni yaitu sebesar 5,038. Efisiensi termal juga masih lebih unggul dengan penggunaan 90% Biosolar+10% CNG dan yang paling menonjol di Rpm 1500 di beban maksimum yaitu sebesar 39.79 $\eta_{th}\%$ dan jika dibandingkan dengan penggunaan Biosolar murni yaitu sebesar 19.37 $\eta_{th}\%$.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya saya haturkan untuk semua rekan-rekan mahasiswa PPSTK dan Sistem Perkapalan atas partisipasi dan supportnya sehingga penelitian ini bisa berjalan dengan baik dan selesai dengan tepat waktu,terkhusus untuk saudara Rizaldi, Tata, Rudi Untung dan Mas nur yang terus menerus memberikan bantuannya saat penulis mulai melakukan proses pengujian. Semoga Allah SWT Senantiasa merahmati dan melindungi kita semua.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Alp Tekin Ergenc and Deniz Orde Koca. (2014). "PLC Controlled Single Cylinder Diesel-LPG Engine". *Internasional Journal of applied energy Elsevier*, Vol. 130, Hal. 273-278.
- [2] Ariana, (2012), I.M., Sistem Permesinan Lanjut: a Lecture Note, Institut Teknologi Sepuluh November Surabaya
- [3] Arismunandar, W, & Tsuda K. (1993). "Motor Diesel Putaran Tinggi". Pradaya Paramita. Jakarta
- [4] BP Statistical Review of World Energy. (2014) 63rd edition. London
- [5] Ehsan, Md. (2009), "Dual Fuel Performance of a Small Diesel Engine for Applications with Less Frequent Load Variations". *Internasional Journal of Mechanical & Mechatronics Engineering IJMME-IJENS* Vol 09 No 10, Bangladesh
- [6] G.H. Abd Alla, H.A. Solaiman, O.A Badr, M.F. Abd Rabbo. (2000). "Effect of Injection Timing on The Performance of A Gas Engine". Zugazig University, Kairo, Egypt
- [7] Hidayat, A.W. (2014). " Kajian Eksperimental Unjuk Kerja Dual Fuel Engine Hasil Modifikasi dari Diesel Engine". Skripsi. Institut Teknologi Sepuluh November, Surabaya
- [8] Ikhsan, A.R. (2014). " Rancang Bangun Sistem Otomasi Diesel Dual Fuel (DDF) dengan Kontrol Programmable Logic Control (PLC)". Skripsi. Institut Teknologi Sepuluh November, Surabaya
- [9] Setiawan, W. (2014). "Analisis Teknis Penggunaan Coal Oil Mixture Sebagai Bahan Bakar Alternatif Pengganti Heavy Fuel Oil pada Motor Diesel". Tesis. Institut Teknologi Sepuluh November Surabaya
- [10] Wijaya, P. D. (2014). " Rancang Bangun Sistem Penginjeksian Gas pada Modifikasi Dual Fuel Diesel Engine". Skripsi. Institut Teknologi Sepuluh November, Surabaya



Kajian Eksperimental Penggunaan Natural Gas dan Biosolar pada Mesin Diesel

Oleh

SUARDI

4113204002

**PROGRAM PASCASARJANA
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA 2015**



“...untuk mengurangi subsidi BBM dan listrik, kita perlu melakukan gerakan penghematan secara nasional. Inilah cara yang paling tepat pada saat ini. Sesungguhnya, memang ada cara lain yang lebih sederhana dan mudah, sebagaimana dilaksanakan di banyak negara, atau di negara kita sendiri di masa lalu, yaitu menaikkan harga BBM dan Tarif Dasar Listrik (TDL). Tetapi itu tidak kita pilih sekarang ini. Oleh karena itu, gerakan penghematan besar-besaran harus kita laksanakan dengan serius dan harus sukses, agar APBN kita aman...” **(Isi Pidato Sby tentang penghematan energy 29 mei 2012)**



“...Ruang fiskal memang sudah sangat sempit sekali. 433 triliun anggaran yang akan dipakai untuk subsidi BBM tahun 2015. Anggaran yang ada juga merupakan anggaran yang mengikat, misalnya untuk bayar utang, pendidikan. Sehingga ruangnya betul-betul sempit sekali,” . Oleh karenanya, hanya ada dua ruang yang bisa memperbesar ruang fiskal, yaitu melalui pengalihkan subsidi BBM kepada sektor produktif, infrastruktur, termasuk irigasi untuk pertanian, benih dan pupuk untuk petani, mesin kapal dan solar untuk nelayan...” **(Isi sambutan Jokowi tentang penghematan energy 18 September 2014)**



“...saya merasa kaget mengetahui konsumsi bahan bakar minyak (BBM) oleh industri kelautan sekitar 2,1 juta kilo liter setahun untuk 635.329 kapal baik yang memiliki mesin maupun tidak (kapal dibawah 30 GT) dan 5329 kapal (diatas 30 GT) yang setara subsidi negara Rp11,5 triliun, tetapi penerimaan negara bukan pajak (PNBP) hanya Rp300 miliar per tahun.....” **(Isi Paparan ibu Susi dalam jumpa pers di kantor KKP di Jakarta, pada Jumat pagi (21/10/2014)).**

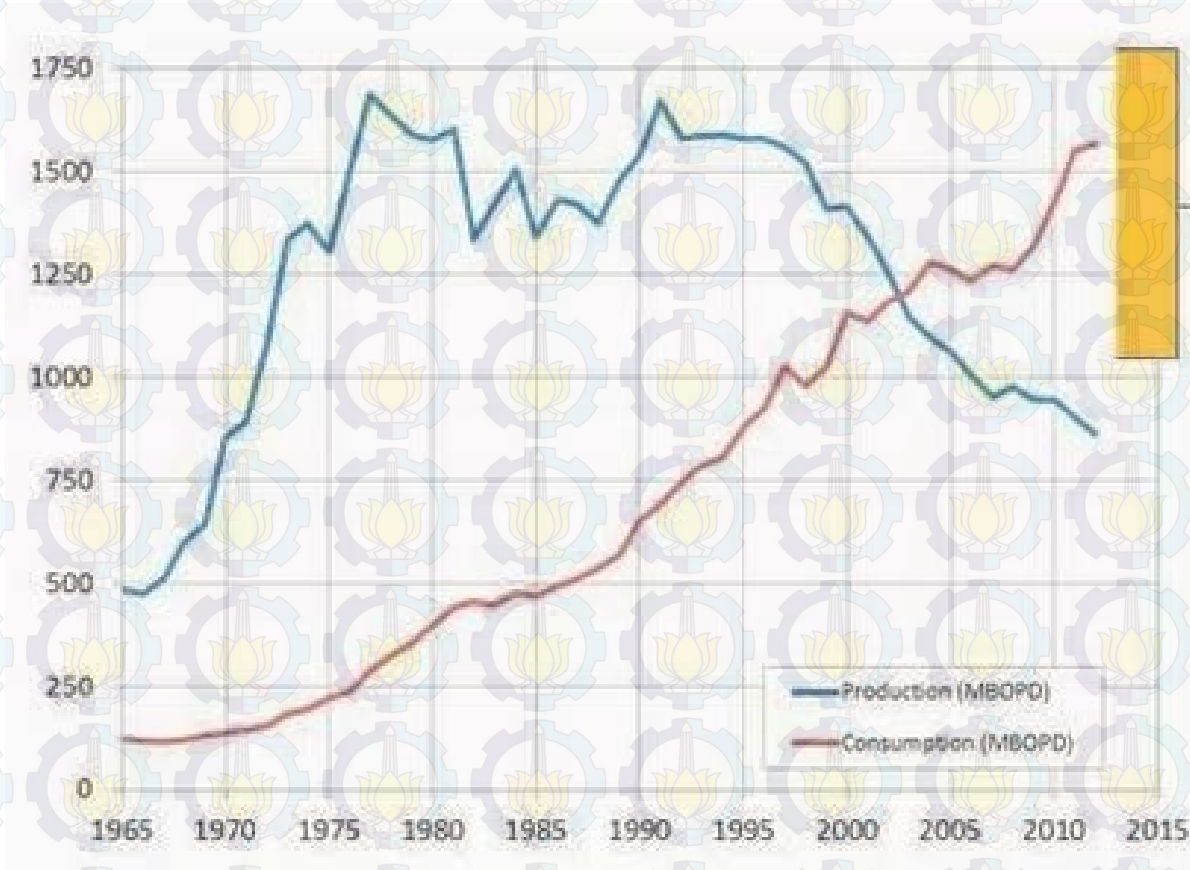


Latar belakang

- ❑ Cadangan minyak bumi Indonesia semakin hari semakin menipis (2013 stok minyak Indonesia tersisa 3.7 miliar barel) dengan produksi saat ini perhari sebesar 840.000 barel
- ❑ Konsumsi BBM dalam negeri per hari mencapai 1.6 juta barel
- ❑ Harga patokan BBM dari tahun ke tahun mengalami kenaikan harga (pemerintah mensiasati dengan cara penggelontoran dana ratusan triliun untuk subsidi BBM)
- ❑ Sumber cadangan gas alam yang tersebar di wilayah Indonesia masih banyak yang belum dieksplor secara maksimal dengan total cadangan gas bumi mencapai 150.70 TSCF (*trillion square cubic feet*).
- ❑ Pemerintah mulai mengkaji penggunaan bahan bakar gas
- ❑ Sistem DDF (*Diesel Dual Fuel*) dengan tujuan menggantikan atau mengurangi ketergantungan terhadap konsumsi BBM



Latar belakang



Gambar 1.1. Produksi dan Konsumsi Bahan Bakar Minyak di Indonesia
(Sumber: BP Statistical Review of World Energy June 2014)



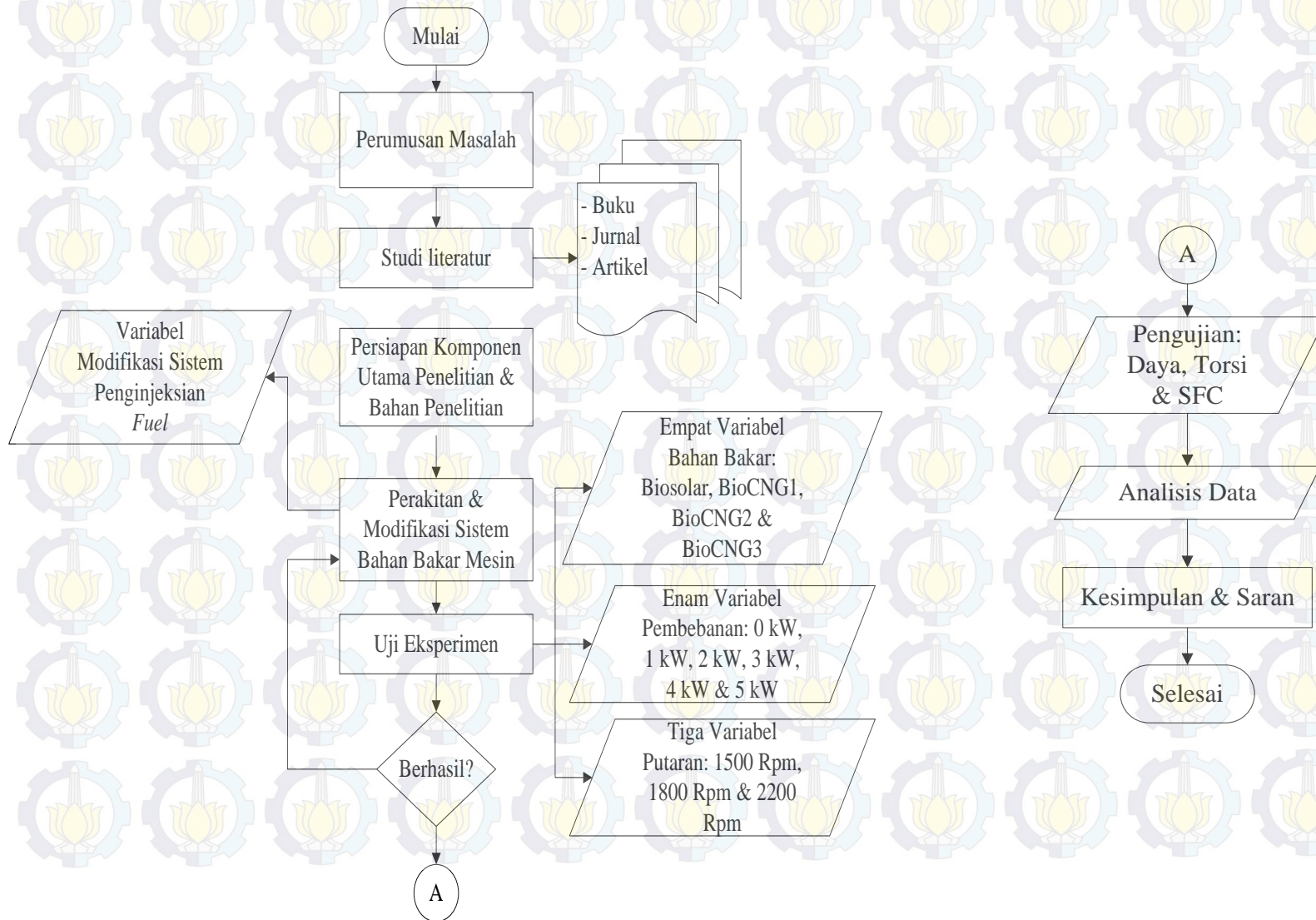
Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang diuraikan diatas maka dapat dirumuskan permasalahan sebagai berikut :

1. Bagaimanakah pemodifikasian sistem penginjeksian bahan bakar untuk mengurangi konsumsi bahan bakar *fuel oil*?
2. Apakah pengaruh daripada penambahan *Natural Gas* terhadap performa mesin yanmar TF 85 MH?

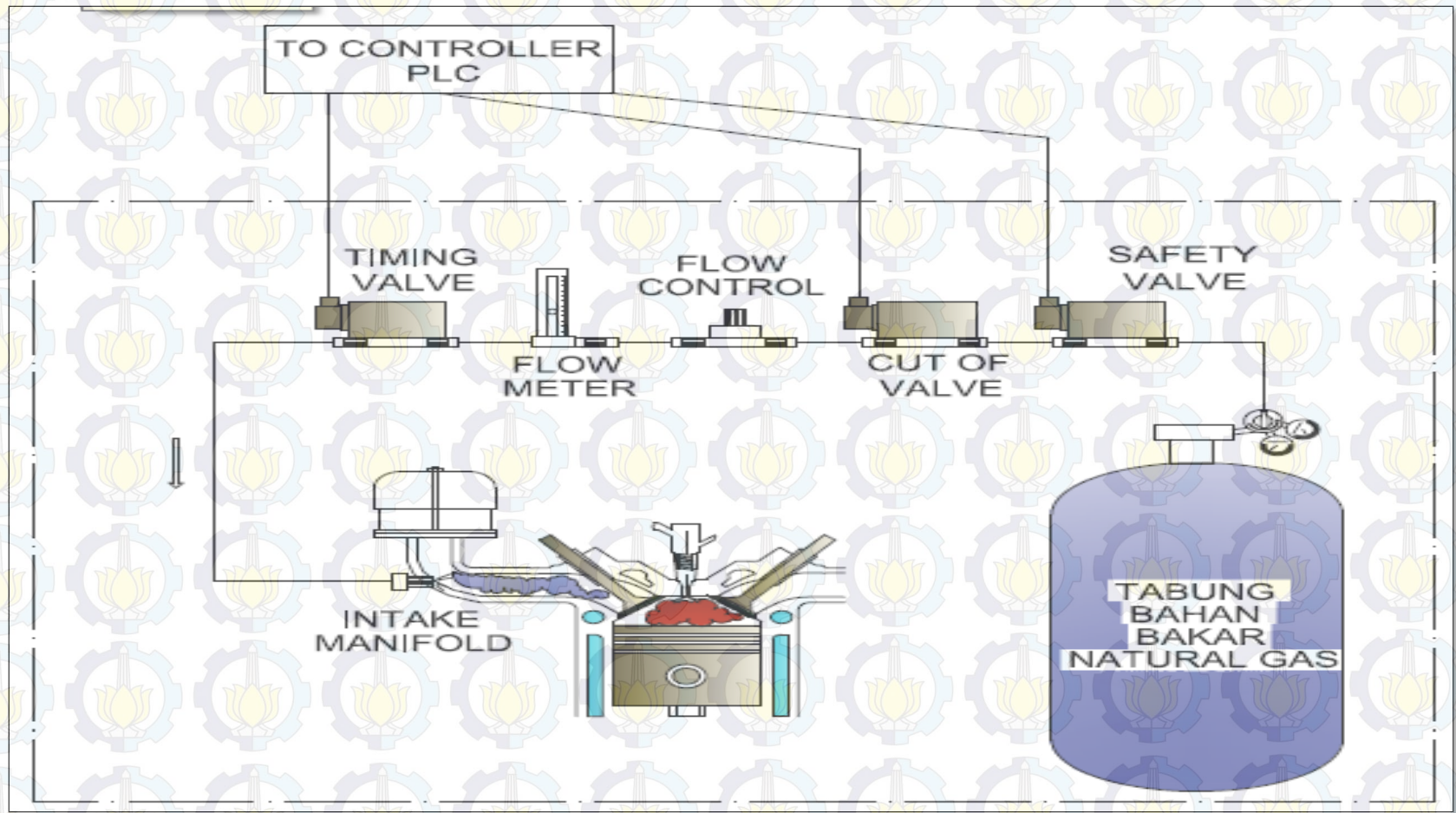


METODOLOGI PENELITIAN





DESAIN MASUKAN GAS





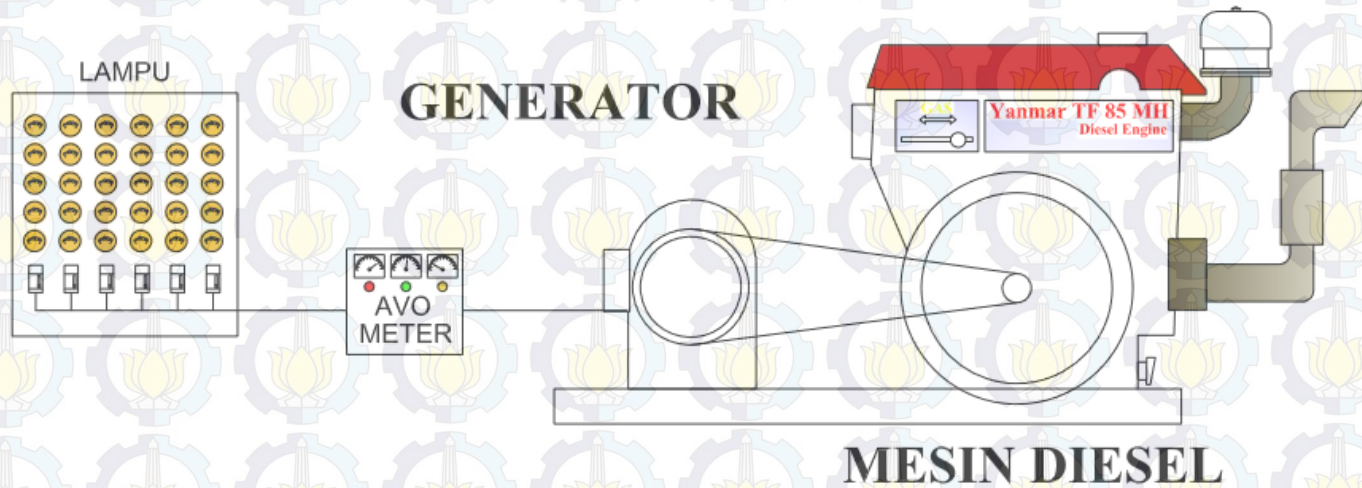
DESAIN MASUKAN BIOSOLAR



Gambar Modifikasi Nozzle Injektor



Uji eksperimen



Gambar Sketsa Pengujian *Engine Performance*



PERHITUNGAN PERFORMA MESIN

1. SFC

2. Daya

3. Torsi

4. BMEP

5. Efisiensi Termal



Analisis Visual Mesin

Tabel hasil pengamatan secara Visual saat perunningan mesin

No	Bahan Bakar [%]	Kondisi Mesin Percobaan
1	Biosolar	Kondisi mesin berjalan normal seperti biasa untuk ketiga sample Rpm yang dijadikan acuan, baik bunyi, getaran masih dalam bata ambang yang wajar, asap dari gas buang saat start awal terlihat pekat hitam beberapa saat dan kembali normal setelah mesin beroperasi dalam kondisi idle.
2	Fuel Ratio1	Kondisi mesin tetap berjalan normal seperti biasa untuk ketiga sample Rpm yang diujikan, namun bunyi yang ditimbulkan tidak seperti bunyi pada biosolar murni yaitu mesin terdengar terasa berat dan irama mesin terasa tidak stagnan, kadang naik dan kadang terasa turun, getaran masih dalam bata ambang yang wajar walaupun semakin bertambah beban yang diberikan getaran juga semakin besar dan bahkan sempat terdengar knock mesin 2 kali saat Rpm 2200, asap dari gas buang saat start awal juga terlihat pekat hitam tapi tidak sepekat penggunaan Biosolar 100%.



Analisis Visual Mesin

Tabel hasil pengamatan secara Visual saat perunningan mesin

No	Bahan Bakar [%]	Kondisi Mesin Percobaan
3	Fuel Ratio 2	Kemudian pada saat pengujian sampel bahan bakar <i>Fuel Ratio 2</i> Kondisi mesin tetap berjalan normal seperti biasa untuk ketiga sample Rpm yang diujikan, baik bunyi, getaran masih dalam bata ambang yang wajar walaupun semakin bertambah beban yang diberikan tapi masih dalam batas yang wajar namun terkadang terjadi letupan yang agak aneh yang ditimbulkan dari proses pembakaran, asap dari gas buang saat start awal juga terlihat pekat hitam tapi tidak sepekat penggunaan Biosolar Murni, baunya pun juga tidak sepekat dari penggunaan bahan bakar sebelumnya. Lampu yang dijadikan sebagai factor pembebanan terlihat agak berkedip-kedip meredup dan kembali terang secara kontinu terutama saat pembebanan 2, 3, 4, 5 Kw pada putaran 1500 Rpm.



Analisis Visual Mesin

Tabel hasil pengamatan secara Visual saat perunningan mesin

No	Bahan Bakar [%]	Kondisi Mesin Percobaan
4	Fuel Ratio 3	Kemudian pada saat pengujian sampel bahan bakar <i>Fuel Ratio 3</i> , Untuk Sampel bahan bakar <i>Fuel Ratio 3</i> mesin masih beroperasi namun khusus pada Rpm 1500 dan 1800 ketukan yang dihasilkan mesin semakin sering terdengar, suara pembakaran dari mesin juga tidak beraturan, air pendingin mesin juga semakin panas padahal sebelum dilakukan pengujian untuk sample ini dilakukan penambahan air pendingin, untuk gas buang tidak pekat seperti kombinasi bahan bakar sebelumnya, bau gas buang juga terasa lain dari biasanya.



Data Performa Mesin

Pada table dibawah ini, akan disajikan data dari performa mesin yang didapatkan dari hasil pengujian mesin yang meliputi daya, torsi, SFC, BMEP dan Efisiensi Termal pada variasi beban 0, 1000, 2000, 3000, 4000 dan 5000 watt serta putaran 1500 Rpm, 1800 Rpm dan 2200 Rpm.

Tabel Performa Mesin Sampel
Biosolar Murni

No	Putaran	Ne	SFC	Torsi	BMEP	eff thermal
	Engine					(η_t)
	(RPM)	(kW)	Kg/kW.h	(N.m)	kPa	(%)
1	1500	0	0	0	0	0
2		0.518	0.590	3.30	84	13.74
3		1.093	0.371	6.96	177	21.87
4		1.593	0.355	10.14	258	22.83
5		1.999	0.366	12.73	324	22.16
6		2.239	0.419	14.26	363	19.37
7	1800	0	0	0	0	0
8		0.842	0.482	4.47	114	16.84
9		1.638	0.295	8.69	222	27.47
10		2.376	0.308	12.61	321	26.35
11		3.000	0.312	15.92	406	25.96
12		3.438	0.335	18.25	465	19.53
13	2200	0	0	0	0	0
14		1.307	0.717	5.68	145	11.31
15		2.561	0.404	11.12	283	20.08
16		3.699	0.312	16.06	409	26.01
17		4.648	0.307	20.19	514	26.40
18		5.353	0.311	23.25	592	26.06



Tabel Pengujian Mesin Sampel Fuel Ratio 1

No	Putar an	Ne (kW)	SFC (kg/kW h)	SFC gas (kg/kWh)	Torsi (%)	BMEP kPa	eff thermal (η_t) (%)
	Engin e						
	(RPM)						
1	1500	0	0	0	0	0	0
2		0.597	0.390	0.308	3.80	97	0.11
3		1.166	0.247	0.158	7.42	189	0.20
4		1.722	0.205	0.107	10.97	279	0.26
5		2.077	0.198	0.088	13.23	337	0.28
6		2.432	0.209	0.075	15.49	395	0.28
7	1800	0	0	0	0	0	0
8		0.965	0.317	0.043	5.12	130	0.20
9		1.665	0.205	0.025	8.84	225	0.31
10		2.390	0.187	0.017	12.68	323	0.34
11		3.032	0.174	0.013	16.09	410	0.34
12		3.399	0.158	0.012	18.04	460	0.31
13	2200	0	0	0	0	0	0
14		1.307	0.353	0.303	5.68	145	0.12
15		2.552	0.199	0.155	11.08	282	0.22
16		3.670	0.170	0.108017	15.94	406	0.29
17		4.607	0.145	0.086051	20.01	510	0.35
18		5.301	0.189	0.074772	23.02	587	0.30



Tabel Pengujian Mesin Sampel Fuel Ratio 2

No	Putaran	Ne (kW)	SFC (kg/kWh)	SFC gas (kg/kWh)	Torsi (%)	BMEP kPa	eff thermal (η_t) (%)
	Engine						
	(RPM)						
1	1500	0	0	0	0	0	0
2		0.468	0.427	0.788	2.98	76	0.11
3		1.088	0.215	0.339	6.93	176	0.14
4		1.651	0.178	0.223	10.51	268	0.20
5		2.172	0.144	0.170	13.83	352	0.25
6		2.475	0.153	0.149	15.76	402	0.26
7	1800	0	0	0	0	0	0
8		0.768	0.317	0.055	4.08	104	0.22
9		1.636	0.164	0.026	8.68	221	0.33
10		2.425	0.145	0.017	12.87	328	0.36
11		3.093	0.120	0.014	16.42	418	0.36
12		3.676	0.102	0.011	19.51	497	0.34
13	2200	0	0	0	0	0	0
14		1.365	0.253	0.581	5.93	151	0.12
15		2.594	0.158	0.306	11.26	287	0.15
16		3.780	0.110	0.210	16.42	418	0.21
17		4.801	0.099	0.165	20.85	531	0.25
18		5.578	0.112	0.142	24.22	617	0.26

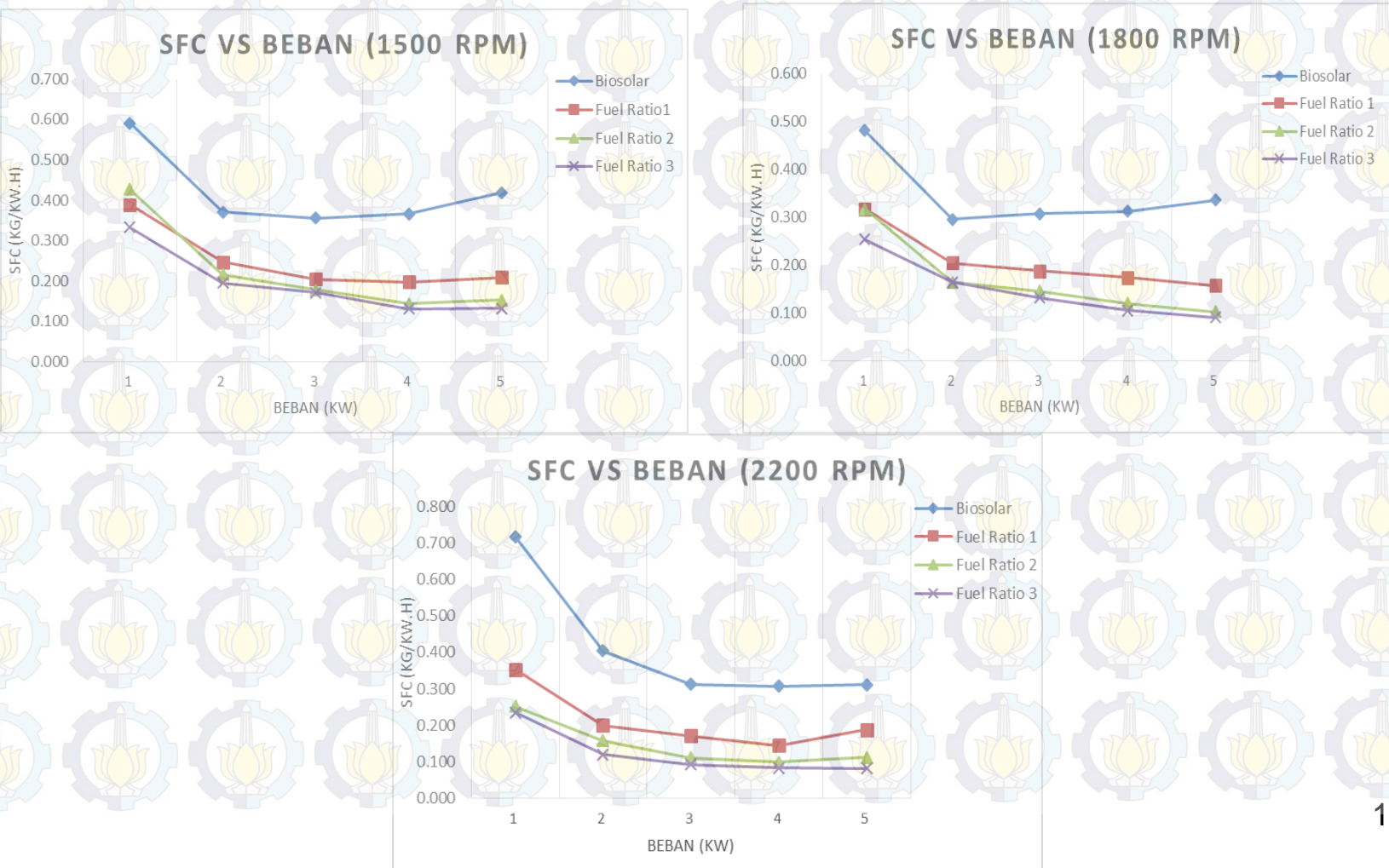


Tabel Pengujian Mesin Sampel Fuel Ratio 3

No	Putaran	Ne (kW)	SFC (kg/kWh)	SFC gas (kg/kWh)	Torsi (%)	BMEP kPa	eff thermal (η_t) (%)
	Engine						
	(RPM)						
1	1500	0	0	0	0.00	0	0
2		0.540	0.333	1.024	3.44	88	0.11
3		1.058	0.196	0.523	6.74	172	0.14
4		1.511	0.171	0.366	9.63	245	0.20
5		2.085	0.131	0.265	13.28	338	0.26
6		2.494	0.132	0.222	15.88	405	0.27
7	1800	0	0.000	0.000	0.00	0	0
8		0.827	0.254	0.051	4.39	112	0.23
9		1.636	0.164	0.026	8.68	221	0.35
10		2.392	0.132	0.018	12.70	323	0.36
11		3.075	0.105	0.014	16.32	416	0.37
12		3.676	0.091	0.011	19.51	497	0.34
13	2200	0	0.000	0.000	0.00	0	0
14		1.216	0.235	0.978	5.28	135	0.13
15		2.542	0.120	0.468	11.04	281	0.18
16		3.719	0.093	0.320	16.15	411	0.26
17		4.793	0.083	0.248	20.82	530	0.31
18		5.522	0.082	0.215	23.98	611	0.34



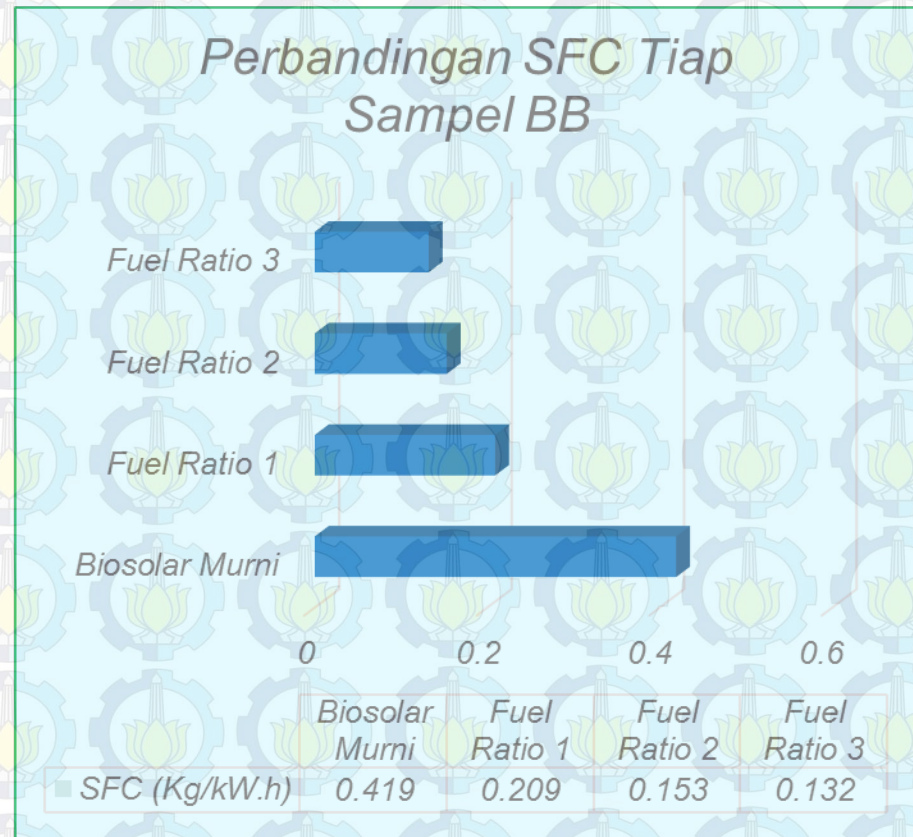
Grafik Performa Mesin Hubungan Konsumsi Bahan Bakar (SFC) Terhadap Perubahan Beban





Analisis Performa Mesin Hubungan Konsumsi Bahan Bakar (SFC) Terhadap Perubahan Beban

SFC yang rendah/kecil menunjukkan efisiensi yang tinggi. Besarnya SFC pada sampel bahan bakar *Fuel Ratio* 1 hingga *Fuel Ratio* 3 disebabkan karna adanya penambahan sejumlah bahan bakar CNG kedalam ruang bakar mesin, hal ini juga memberi peranan penting dalam menurunkan konsumsi Biosolar, factor lain yang juga sangat berpengaruh adalah pemodifikasian pada *nozzle* injektor, dengan adanya modifikasi pada injektor maka konsumsi biosolar pun semakin berkurang.

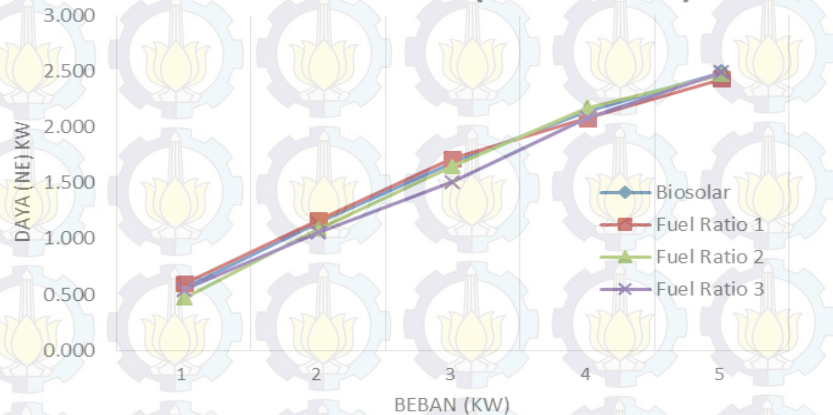


Sampel bahan bakar *Fuel Ratio* 1 hingga *Fuel Ratio* 3 untuk putaran 1500 Rpm disamping 20

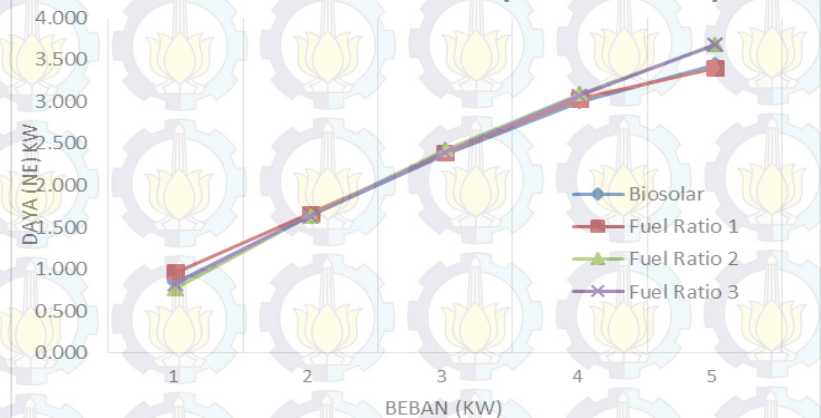


Grafik Performa Mesin Hubungan Daya Terhadap Perubahan Beban

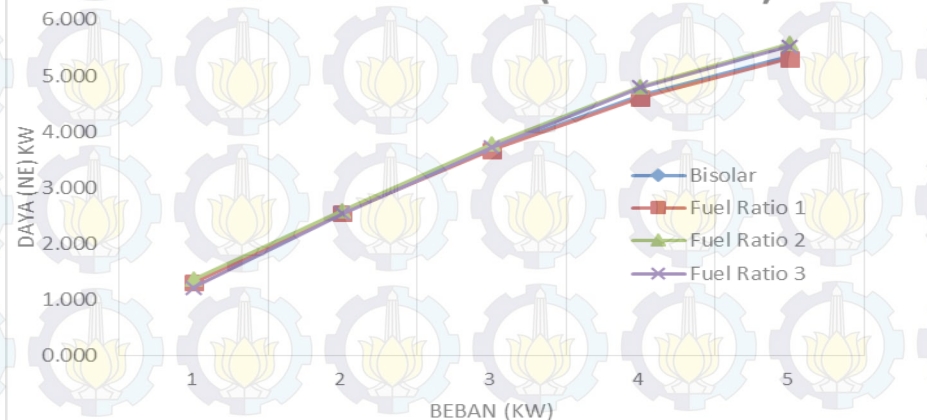
DAYA VS BEBAN (1500 RPM)



DAYA VS BEBAN (1800 RPM)



DAYA VS BEBAN (2200 RPM)

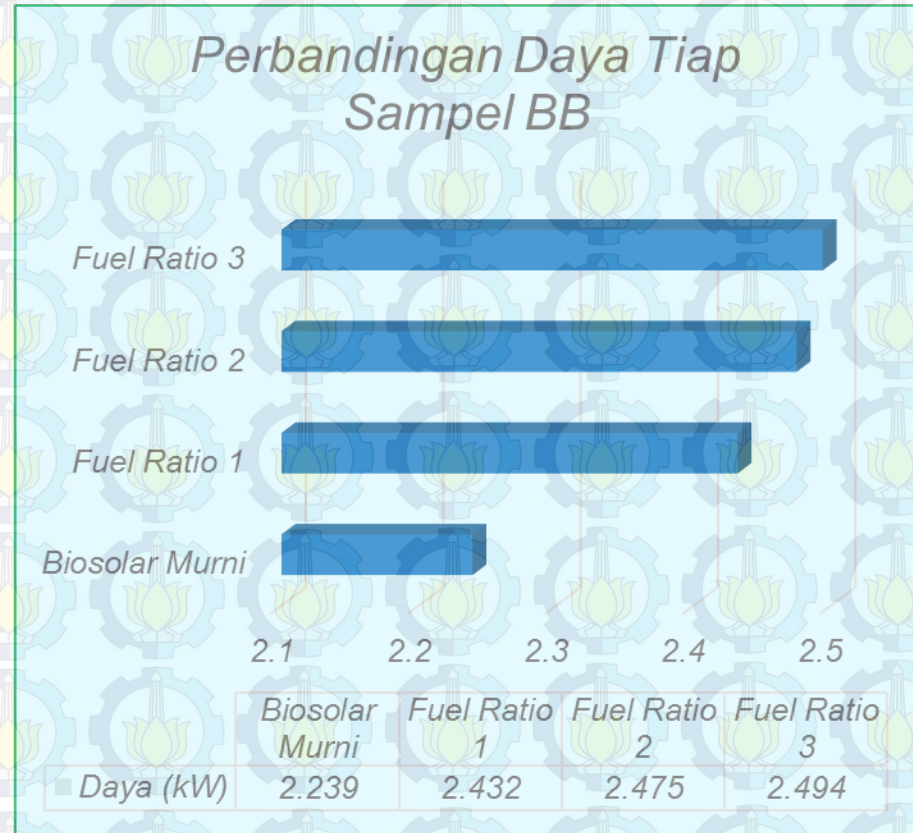




Analisis Performa Mesin Hubungan Daya (N_e) Terhadap Perubahan Beban

perubahan besaran daya antara dua mode bahan bakar (Biosolar dan *Fuel ratio*) relatif kecil, hal ini disebabkan perubahan nilai arus dan tegangan yang dihasilkan oleh genertor juga relatif kecil. Sedangkan jika ditinjau dari nilai kalor bahan bakar yang dipadukan, Biosolar (10601,77kcal/kg) memiliki nilai kalor yang jauh lebih kecil dibandingkan dengan nilai kalor CNG (12418 kcal/kg). Artinya, penambahan energi untuk mesin juga relatif kecil saat mesin dioperasikan dengan sistem *dual fuel* sehingga perbedaan daya antara kedua sistem bahan bakar juga kecil

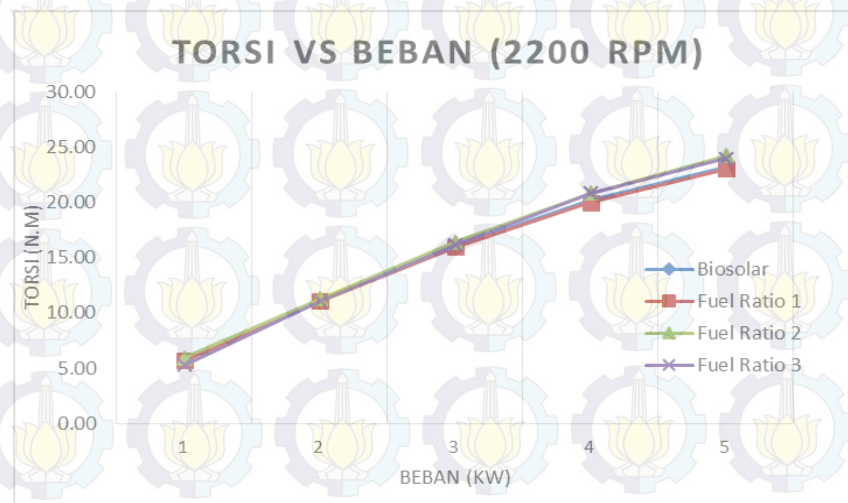
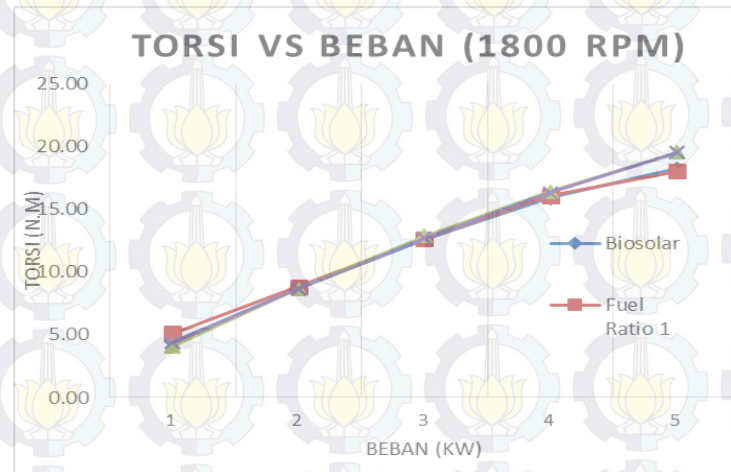
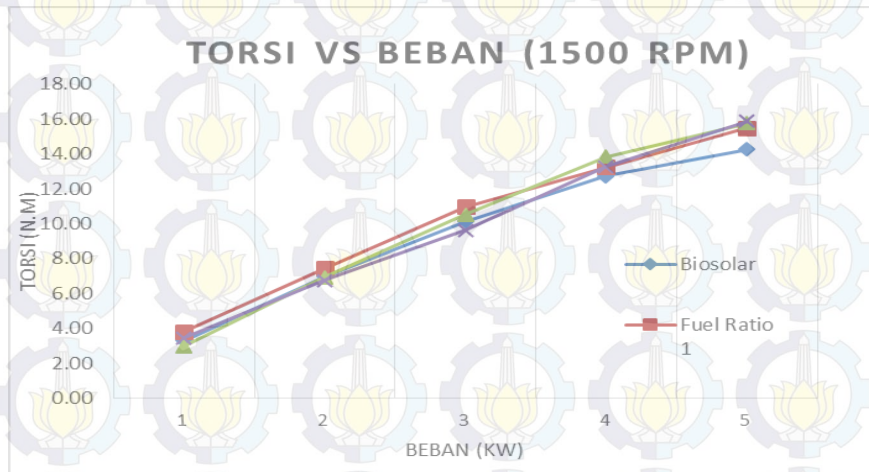
Perbandingan Daya Tiap Sampel BB



Sampel bahan bakar *Fuel Ratio* 1 hingga *Fuel Ratio* 3 untuk putaran 1500 Rpm disamping 22



Grafik Performa Mesin Hubungan Torsi Terhadap Perubahan Beban

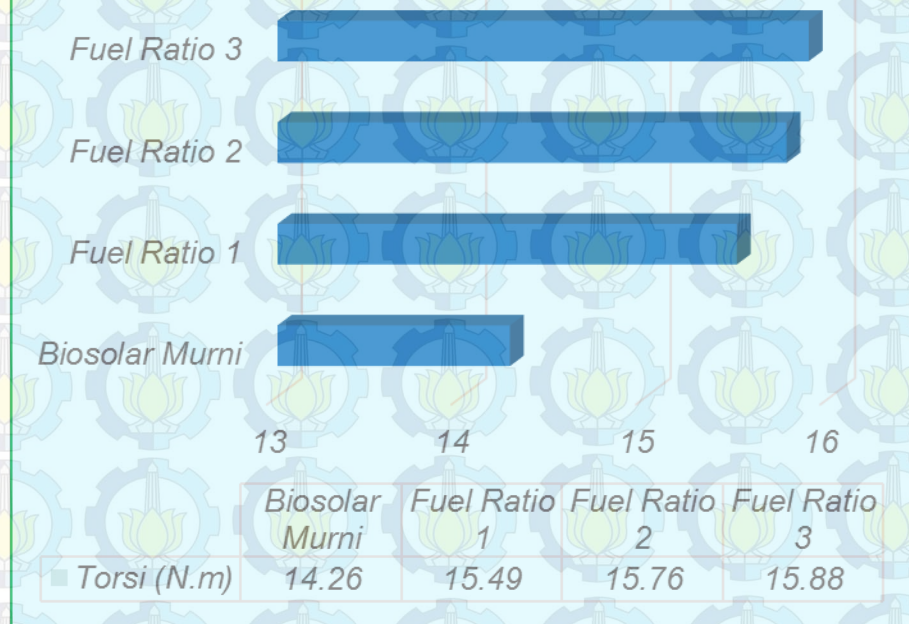




Analisis Performa Mesin Hubungan Torsi Terhadap Perubahan Beban

Pada dasarnya torsi mesin berbanding lurus dengan daya motor sehingga torsi. Perubahan torsi baik pada sampel bahan bakar Biosolar maupun mode Gas relatif kecil, hal ini dikarenakan perubahan nilai arus dan tegangan yang dihasilkan oleh generator juga relatif kecil. Secara umum penambahan jumlah CNG juga berdampak pada peningkatan daya yang dihasilkan oleh mesin, hal ini terlihat dengan makin meningkatnya daya yang dihasilkan oleh mesin berbanding lurus dengan tingkat CNG yang disuplai, kemudian semakin bertambahnya putaran mesin dan beban kerja mesin, maka semakin besar pula torsi yang dihasilkan.

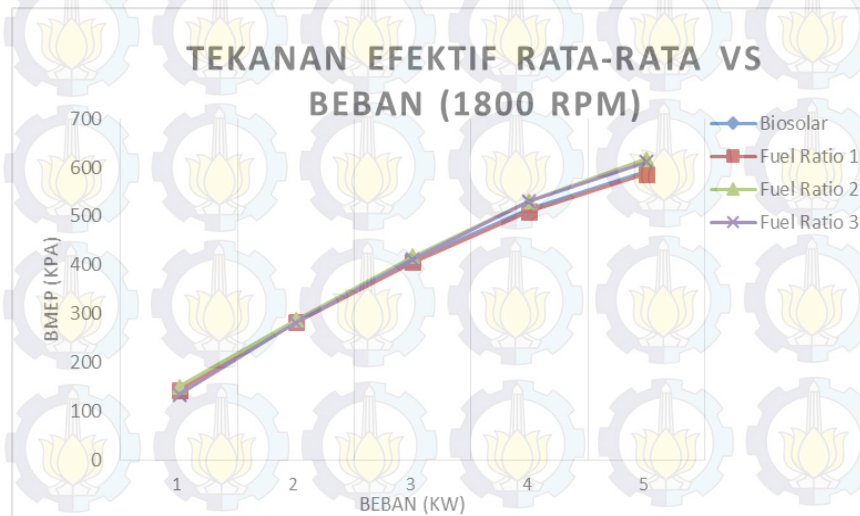
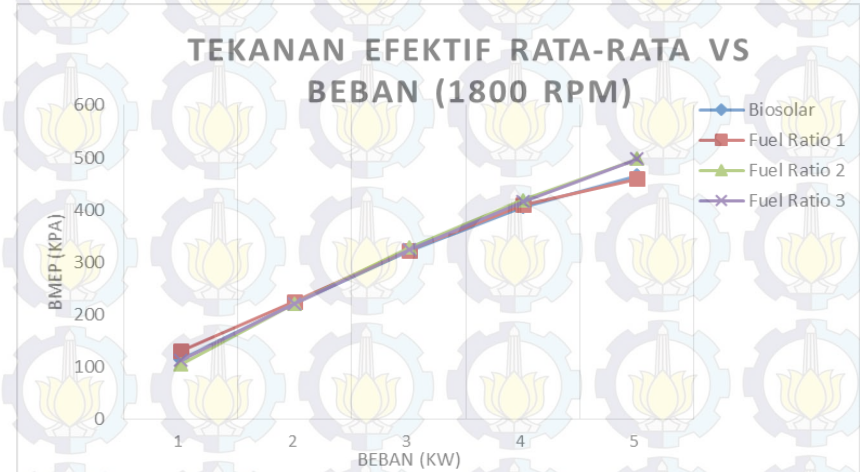
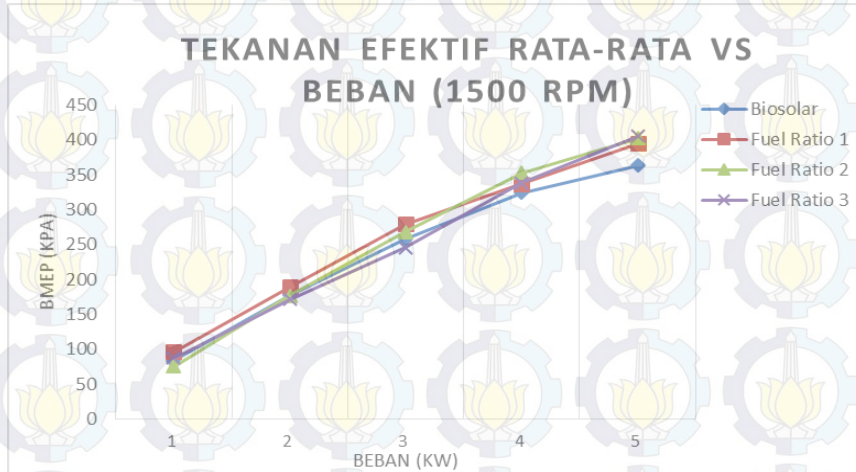
Perbandingan Torsi Tiap Sampel BB



Sampel bahan bakar *Fuel Ratio 1* hingga *Fuel Ratio 3* untuk putaran 1500 Rpm disamping 24



Grafik Performa Mesin Hubungan BMEP Terhadap Perubahan Beban

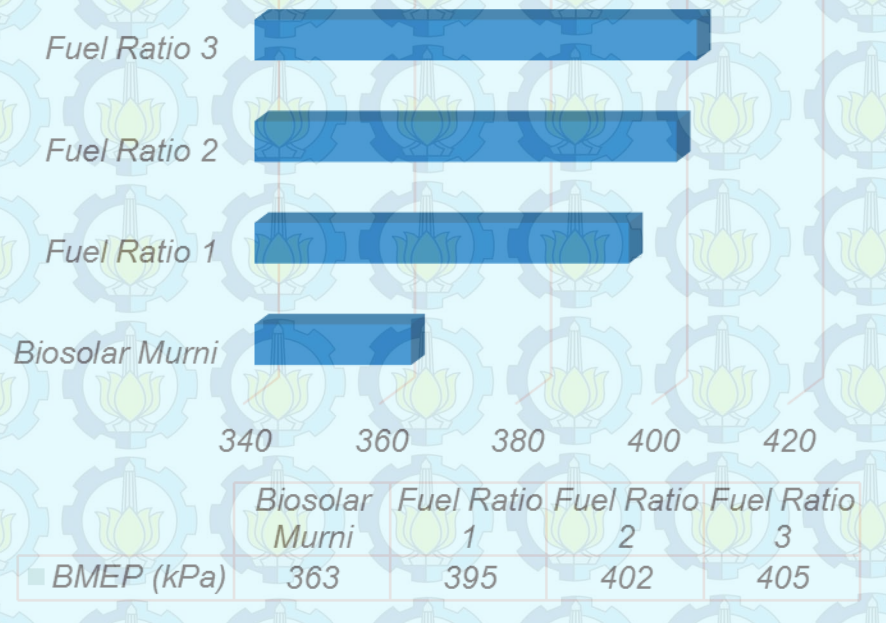




Analisis Performa Mesin Hubungan BMEP Terhadap Perubahan Beban

Pada dasarnya dengan penambahan jumlah CNG yang diinjeksikan akan membuat bmep yang dihasilkan oleh mesin semakin besar. Dengan kata lain, semakin banyak bahan bakar yang diledakkan di ruang bakar, maka tekanan ekspansi yang dihasilkan juga akan semakin besar. Hal inilah yang menyebabkan terjadinya kenaikan bmep seiring dengan kenaikan beban.

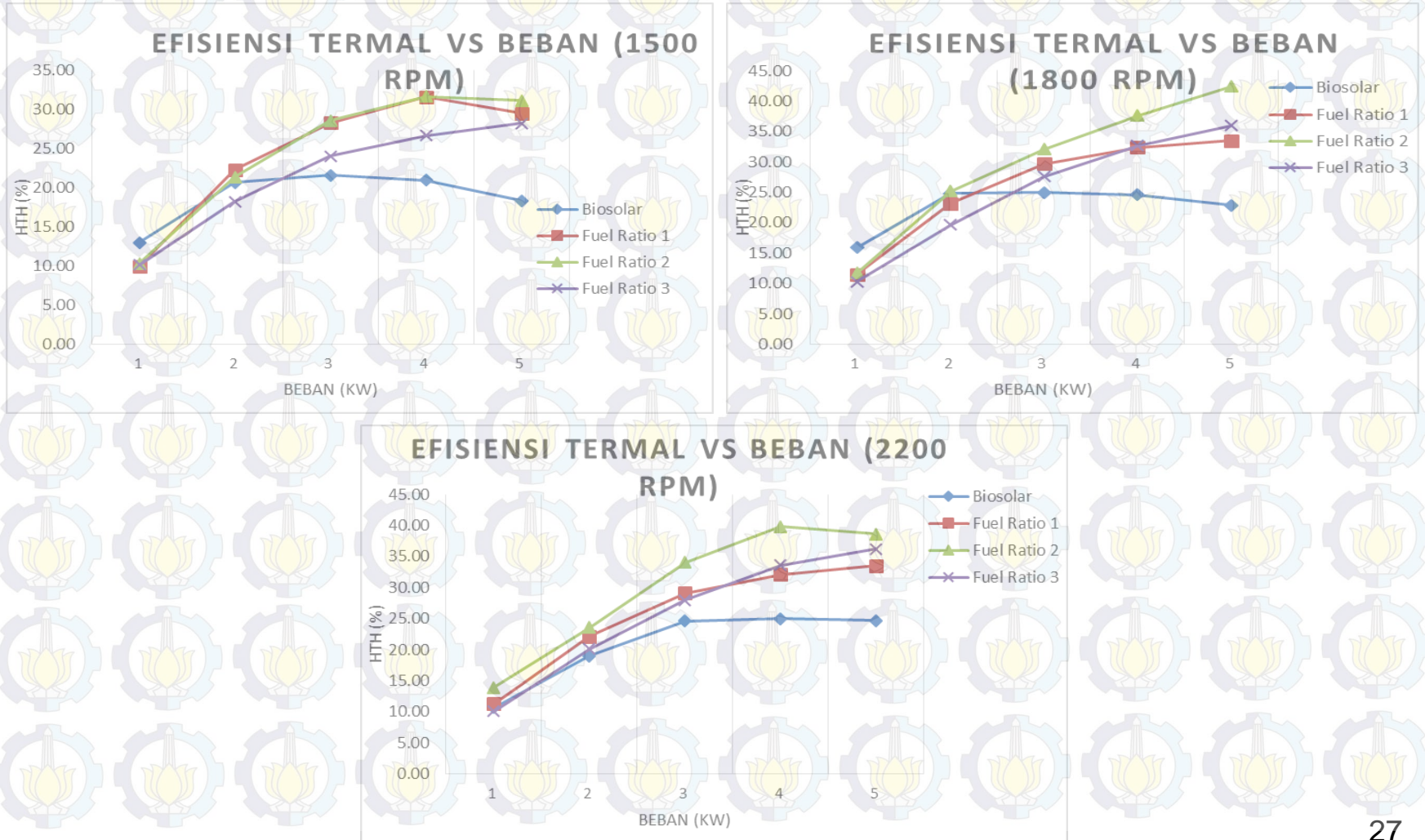
Perbandingan BMEP Tiap Sampel BB



Sampel bahan bakar *Fuel Ratio* 1 hingga *Fuel Ratio* 3 untuk putaran 1500 Rpm disamping 26



Grafik Performa Mesin Hubungan Efisiensi Termal Terhadap Perubahan Beban

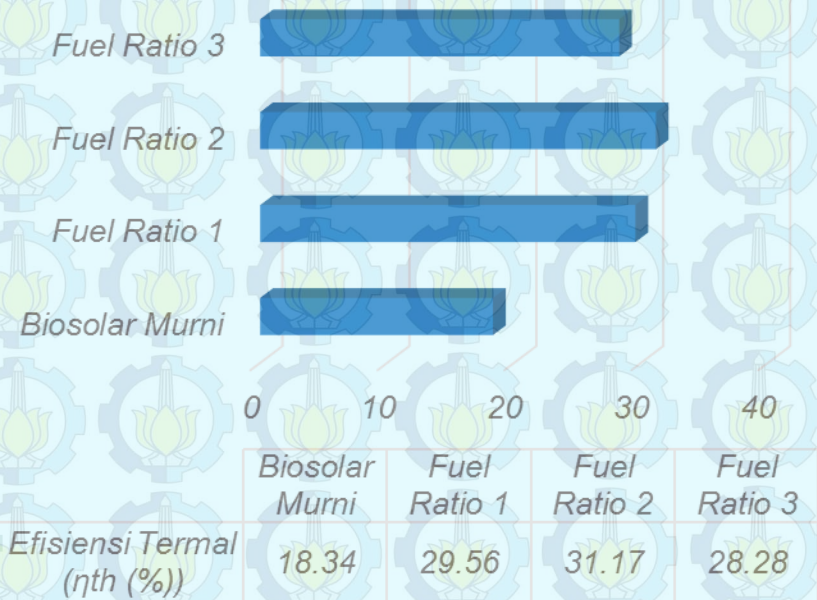




Analisis Performa Mesin Hubungan Efisiensi Termal Terhadap Perubahan Beban

Semakin banyak CNG yang diinjeksikan masuk kedalam mesin memberikan pengaruh peningkatan efisiensi termal terhadap mesin, hal ini disebabkan karena proses pencampuran CNG dengan udara relatif lebih mudah karena fasenya yang gas, sehingga efisiensi proses pembakaran juga semakin lebih tinggi. Namun CNG yang masuk juga harus diberi batasan mengingat dengan banyaknya CNG maka jumlah udara segar sendiri akan terdesak sehingga proses pembakaran didalam mesin justru akan menjadi tidak baik. Faktor lain adalah dengan terlalu banyaknya pengurangan kuantitas Biosolar yang diinjeksikan juga akan membuat proses pembakaran tidak berjalan maksimal mengingat *Temperature Ignation* dari CNG sendiri sangat tinggi sehingga Biosolar digunakan sebagai pemicu untuk membakar CNG

Perbandingan Efisiensi Termal Tiap Sampel BB



Sampel bahan bakar *Fuel Ratio 1* hingga *Fuel Ratio 3* untuk putaran 1500 Rpm disamping



Analisis Performa Mesin

Tabel Besaran Harga Konsumsi Bahan Bakar Biosolar per Jam

No	Sampel Bahan Bakar	Beban	Harga Bahan Bakar per Putaran Mesin (Rpm) per Jam Pada Mode Diesel (Rupiah)								
			1500			1800			2200		
			FC Diesel	Harga	Total	FC Diesel	Harga	Total	FC Diesel	Harga	Total
1	Biosolar	1	0.306	3366	3400	0.405	4458	4500	0.937	10308	10400
2		2	0.405	4458	4500	0.484	5320	5400	1.034	11374	11400
3		3	0.566	6224	6300	0.731	8046	8100	1.153	12687	12700
4		4	0.731	8046	8100	0.937	10308	10400	1.428	15708	15800
5		5	0.937	10308	10400	1.153	12687	12700	1.666	18326	18400

Tabel Besaran Harga Konsumsi Bahan Bakar *Fuel Ratio* 1 per Jam

No	Sampel Bahan Bakar	Beban	Harga Bahan Bakar per Putaran Mesin (Rpm) per Jam Pada Mode Gas (Rupiah)								
			1500			1800			2200		
			Diesel	Gas	Total	Diesel	Gas	Total	Diesel	Gas	Total
1	<i>Fuel Ratio</i> 1	1	2499	0.0097	2499	3266	0.0154	3266	4923	0.0288	4923
2		2	3026	0.0118	3026	3586	0.0169	3586	5320	0.0311	5320
3		3	3625	0.0141	3625	4646	0.0219	4646	6468	0.0379	6468
4		4	4340	0.0169	4340	5408	0.0255	5408	6597	0.0386	6597
5		5	5236	0.0203	5236	5408	0.0255	5408	10996	0.0644	10996



Analisis Performa Mesin

Tabel Besaran Harga Konsumsi Bahan Bakar *Fuel Ratio 2* per Jam

No	Sampel Bahan Bakar	Beban	Harga Bahan Bakar per Putaran Mesin (Rpm) per Jam Pada Mode Gas (Rupiah)								
			1500			1800			2200		
			Diesel	Gas	Total	Diesel	Gas	Total	Diesel	Gas	Total
1	<i>Fuel Ratio 2</i>	1	2101	0.0173	2101	2537	0.0173	2537	3586	0.0455	3586
2		2	2408	0.0198	2408	2749	0.0198	2749	4123	0.0523	4123
3		3	2945	0.0242	2945	3547	0.0242	3547	4176	0.0530	4176
4		4	3172	0.0261	3172	3706	0.0261	3706	4646	0.0589	4646
5		5	3881	0.0319	3881	3706	0.0319	3706	6468	0.0820	6468

Tabel Besaran Harga Konsumsi Bahan Bakar *Fuel Ratio 3* per Jam

No	Sampel Bahan Bakar	Beban	Harga Bahan Bakar per Putaran Mesin (Rpm) per Jam Pada Mode Gas (Rupiah)								
			1500			1800			2200		
			Diesel	Gas	Total	Diesel	Gas	Total	Diesel	Gas	Total
1	<i>Fuel Ratio 3</i>	1	1853	0.0164	1853	2170	0.0198	2170	2919	0.0276	2919
2		2	2088	0.0184	2088	2749	0.0250	2749	3054	0.0289	3054
3		3	2537	0.0224	2537	3142	0.0286	3142	3366	0.0319	3366
4		4	2704	0.0239	2704	3203	0.0291	3203	3881	0.0368	3881
5		5	3299	0.0291	3299	3266	0.0297	3266	4646	0.0440	4646



Kesimpulan

1. Rancangan mekanisme penginjeksian bahan bakar Biosolar dalam bentuk sistem *Dual Fuel Diesel Engine* pada mesin Diesel Yanmar TF 5 MH dapat dilakukan dengan memodifikasi *spring nozzle* dimana penambahan sim pada *spring nozzle* membuat kuantitas bahan bakar yang diinjeksikan juga semakin berkurang.
2. Performa mesin yang dihasilkan oleh sampel Fuel Ratio 3 jauh lebih baik dari pada kombinasi bahan bakar yang lain, jika ditinjau dari besaran daya, Torsi, SFC dan BMEP yang dihasilkan sampel bahan bakar Fuel Ratio 3 memberikan tingkatan Performa yang lebih baik. Hal ini mengindikasikan bahwa dengan penambahan CNG pada mesin dual fuel justru memberikan tingkat penghematan bahan Biosolar yang jauh lebih hemat sebanyak 73% dibandingkan menggunakan bahan bakar Biosolar murni.



Saran

1. Perlu dikaji mendalam yaitu penggunaan *system common rail* berupa pergantian injektor *fuel* standar *common rail*, pemasangan *high pressure pump*, pemasangan tangki *rail* dan penggunaan ECU untuk diujikan pada mesin *dual fuel* sehingga proses pengontrolan baik injektor *fuel oil*nya maupun injeksi gasnya dapat dioperasikan secara otomatis.
2. Bahan bakar CNG memiliki nilai oktan yang tinggi sementara untuk mesin diesel justru membutuhkan bahan bakar dengan angka cetane yang tinggi, sehingga untuk menghasilkan performa engine lebih optimal diperlukan kompresi rasio yang lebih tinggi pada mesin dan penambahan jumlah pasokan udara segar kedalam ruang bakar.
3. Tidak membahas tentang emisi gas buang dan suhu air pendingin sehingga untuk mendapatkan parameter performa mesin yang lebih baik kedepan perlu dimasukkan point-point tersebut



PANTAI LOSARI

SEKIAN DAN TERIMA KASIH